H. SILLAMAA

automaat-kontrolli süsteemid

A-27958 II

Automaatkontrolli süsteemid

Koostanud
H. Sillamaa

Kirjastus «Valgus» • Tallinn 1966

6T2.15
S53

Kaane kujundanud D. Paalamäe

Raamatus käsitletakse kokkuvõtlikult kaasaegseid automaatkontrolli süsteeme. Vaadeldakse automaatkontrolli süsteemide ülesehitusprintsiipe, üksiksõlmi ning kasutamist tähtsamate tootmisprotsesside liikide puhul.

Raamat on mõeldud tööstuse automatiseerimisega tegelevatele inseneridele ja tehnikutele. Raamatu kirjutamisel on lähtutud sellest, et lugeja tunneks automaatika üldpõhimõtteid. Raamat võib olla kasulik ka tehnikumide ja kõrgemate koolide üliõpilastele automaatkontrolli tundmaõppimisel.

Retsenseerinud U. Vergi

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
68685

Силламаа Х. В.
СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
На эстонском языке. Оформление Д. Пааламяэ. Издательство «Валгус» Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja J. Ristoja. Kunstiline toimetaja R. Tungla. Tehniline toimetaja L. Krikmann. Korrektorid E. Bitter ja M. Pall

Ladumisele antud 23. III 1966. Trükkimisele antud 20. IX 1966. Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 12,5. Tingtrükipoognaid 10,5. Arvestuspoognaid 10,1. Trükiarv 2500. MB-07977. Tellimise nr. 2308. Hans Heidemanni nimeline trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. I

Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik

Hind 73 kop.

3—3—13

Eessõna

Vabariigi tööstuses suureneb iga aastaga automatiseeritud protsesside ja tootmislõikude hulk. Sellega käsikäes kasvab ka uute automaatsüsteemide projekteerimise ja väljatöötamisega või nende korrashoidmise ja ekspluateerimisega tegelevate tööliste ja insener-tehnilise personali arv. Kõige selle tõttu suureneb ka vajadus eestikeelse automaatikaalase kirjanduse järele, mis käsitleks üksikasjalikumalt tootmisprotsesside automatiseerimisega seotud küsimusi. Ulatuslikud ülesanded, mis vabariigi tööstuse ette lähemail aastail on püstitatud, nõuavad üha laialdasemat mehhaniseerimise ja automatiseerimise rakendamist ja sunnivad tööstuse tehnilisi juhte üha enam tegelema automatiseerimise küsimustega.

Käesoleva teose eesmärgiks on automaatkontrolli — ühe levinuma automaatikaharu printsiipide ning selle kaasaegse taseme ja võimaluste lähem tutvustamine lugejale. Raamatu koostamisel tuli kokku puutuda rea tõsiste raskustega. Et originaalteose väljaandmine mitmetel põhjustel ei olnud võimalik ja ühtki tõlkimiseks sobivat võõrkeelset teost ei leidunud, tuli raamat koostada venekeelsete allikate põhjal. Vaatamata sellele, et koostajal ei õnnestunud vältida üksikute osade teatavat ebaühtlust ja mõningat katkendlikkust, on püütud haarata kõiki tähtsamaid automaatkontrolli harusid ja detailsemat tähelepanu pöörata uuematele ja praktikas suuremat tähtsust omavatele kontrollimeetoditele ja -süsteemidele.

Raamatus esitatud materjal on tõlgitud peatükkide kaupa järgmistest raamatutest:

ptk. 3 — Н. И. Вершинин, А. Л. Верцайзер, В. М. Яковлев. Автоматический контроль. Энергия, 1964, гл. 3;

ptk. 4 — samast, ptk. 2, 5, 6, 7, 8 ning Приборостроение и средства автоматики. Справочник под ред. А. Н. Гав-

рилова, том II, книга 2. Машиностроение, 1964, гл. V (автор Л. А. Воронков);

ptk. 5 — Л. М. Майзель. Методы автоматического учета штучной продукции. ГЭИ, 1962, гл. IV и V;

ptk. 6 — Ф. Е. Темников. Автоматические регистрирующие приборы. Машгиз, 1960, гл. 10, §§ 1, 2, 3;

ptk. 7 — И. Н. Минскер. Машины автоматической регистрации. ЦИНТИПРИБОРЭЛЕКТРОПРОМ, 1960, гл. I, II, III.

Peale nende on koostamisel kasutatud raamatuid:

И. В. Бутусов. Принципы построения цифровых указателей электрической цифровой ветви Государственной системы приборов и средств автоматизации. Приборостроение, 1964, № 4;

Приборостроение и средства автоматики. Справочник под ред. А. Н. Гаврилова, том 4. Машиностроение, 1965, глава XV (автор Б. М. Якобсон);

С. М. Жданов, В. М. Макаров, А. Л. Шестаков. Автоматическая пожарная сигнализация. Коммунализдат, 1960.

Peatükid 1 ja 2 on kirjutanud koostaja, samuti mõningate peatükkide sissejuhatavad osad. Raamatu piiratud mahu tõttu tuli ka nimetatud allikate materjale tõlkimisel kohati lühendada, jättes välja vähem olulised ja automaatkontrolliga otseselt mitteseotud küsimused. Samal põhjusel pidi koostaja välja jätma automaatkontrolli süsteemide ühe lüli (andurite) lähema vaatluse, mis oma ulatuslikkuse ja tähtsuse tõttu väärib omaette brošüüri. Raamatu lõpus on toodud valik uuemat automaatkontrolli-alast kirjandust, mis loodetavasti aitab lugejat suunata automaatkontrolli valdkonna edasisele põhjalikumale tundmaõppimisele.

Raamatu lugemine eeldab lisaks mõningatele tehnilistele eelteadmistele peamiselt elektrotehnika ja elektroonika alalt ka automaatika üldiste põhimõtete tundmist. Vastavate teadmiste puudumise korral on otstarbekas eelnevalt tutvuda mõne automaatika aluseid käsitleva üldteosega, näiteks K. Jõudu raamatuga «Automaatika».

Koostaja

I peatükk

Sissejuhatus

Kaasaegses automaatikas võib eristada rida iseseisvaid suundi, mille hulgas küllaltki olulist osa etendab automaatkontroll. Tööstusprotsesside automatiseerimise praktikas on automaatkontrolli süsteemid väga laialdaselt levinud. See on ka loomulik, kuna automaatkontrolli vahendite ja meetodite rakendamine on enamiku seadmete automatiseerimise esimeseks etapiks. Sellele vaatamata polegi nii kerge täpsemalt määratleda, mida automaatkontroll endast kujutab ja ka käesoleval ajal võib veel teaduslike ajakirjade veergudelt leida artikleid, kus automaatkontrolli mõiste täpsemat sisu analüüsitakse. Kindlasti on huvitav ka asjaolu, et näiteks inglise keeles täpne automaatkontrolli mõiste hoopiski puudub [1] ja vastav sõna — automatic control — tähendab hoopis automaatset juhtimist ja reguleerimist. Enamikus keeltes aga mõistetakse kontrolli all järelevalvet, süstemaatilist jälgimist, inspektsiooni. Vastavalt sellele on siis automaatkontrolli puhul tegemist automaatsete jälgimis- ja järelevalveseadmetega. Teiste sõnadega, automaatkontrolli süsteemid pole mõeldud tootmisprotsesside aktiivseks mõjutamiseks, vaid nad võimaldavad protsesside käigu automaatset jälgimist ning esinevate ebanormaalsete olukordade avastamist. Automaatseks nimetatakse protsesside jälgimist aga seepärast, et automaatkontrolli seadmete olemasolu korral pole inimese vahenditu, pidev osavõtt kontrolli igast etapist vajalik. Piisab vaid lühiajalisest tegevusest: seadmete töökorda viimine, korrasoleku kontroll, tulemuste lõplik analüüsimine ja arvesse võtmine.

[1] Kasutatavad mõisted «automatic check, testing, inspection» on kõik kitsama tähendusega.

Igasuguse kontrolli puhul on väga tähtis osa mõõtmisel. See on ka täiesti mõistetav, sest enamasti on kontrollitava seadme või protsessi kohta täielikuma informatsiooni saamiseks vajalik tähtsamate iseloomustussuuruste (näit. tööorgani asend, temperatuur, rõhk jne.) koguseline, kvantitatiivne tundmine. Sellele vaatamata ei saa automaatkontrolli samastada mõõtmisega, kuigi kirjanduses selliseid seisukohti võib leida. Automaatkontrolli ülesanded ja eesmärgid on teistsugused ja mõningas mõttes üldisemad. Automaatkontrolli süsteeme kasutatakse selleks, et avastada tootmisprotsesside režiime ja olukordi (enamasti ebanormaalseid), mis nõuavad edasist vahelesegamist protsessi käiku kas normaalse olukorra taastamiseks või optimaalsete tingimuste loomiseks. Protsessi järgnev juhtimine võib toimuda kas käsitsi või automaatselt. Viimasel juhtumil moodustab automaatkontrolli süsteem ühe osa üldisest tootmisprotsessi automaatjuhtimise süsteemist. Seejuures võib vastava automaatkontrolli seadme ülesandeks olla ainuüksi näiteks leegi olemasolu kindlakstegemine katla koldes või pinge olemasolu kontrollimine elektritoitevõrgus, s. o. ülesannetes, mis ei ole seotud kontrollitava parameetri mõõtmisega.

Automaatkontrolli seadmete praktilise rakendamise valdkondi on tööstuses äärmiselt palju. Neist tähtsamad on järgmised:

1) tahkete kehade, vedelike ja gaaside füüsikalis-keemiliste omaduste objektiivne kvantitatiivne määramine; nimetatud omadused avalduvad reeglina mitmesuguste füüsikaliste parameetrite kaudu, nagu temperatuur, rõhk, tihedus, niiskus, kõvadus, viskoossus, elektrijuhtivus, värvus, võnkesagedus jne.;

2) detailide (esemete) mõõtmete kvantitatiivne määramine nii detailide töötlemisprotsessi käigus kui ka pärast seda;

3) töötlemis- või valmistamisprotsessi kvaliteedi kontroll, s. o. detaili pinnasileduse, metalse või mittemetalse pinnakattekile kvaliteedi, lisandite koguse, detaili kristallstruktuuri, omaduste jm. määramine;

4) toodangu arvestus, selle hulgas detailide hulga loendamine, kaalu ja mahu määramine, vedeliku hulga mõõtmine, toormaterjali kulu arvutamine jne.;

5) montaaži- ja koostamisoperatsioonide kontroll;

6) detailide ja produktsiooni sorteerimine;

7) tootmisprotsessi organisatsioonilis-majanduslike näitajate automaatkontroll, näiteks töötlemisaja määramine, seadme kasuteguri automaatkontroll, protsessi tootlikkuse, kulutatud energiakoguse automaatkontroll jne.;

8) protsesside kulgemistingimuste kontroll, nagu aparatuuri hermeetilisuse, kõikide toormaterjalide komponentide olemasolu, jõuallikate liigkoormuse puudumise jne. kontroll.

Toodud rakendusvaldkondade loetelu lähem analüüs näitab, et igas automaatkontrolli süsteemis võib eristada kolme põhilist funktsionaalset elementi:

1) *mõõteelement — andur*, mille ülesandeks on kontrollitavale parameetrile vastava kontrollsignaali (elektrilise, pneumaatilise) tekitamine;

2) *võimendus-muunduselement*, mis tavaliselt tugevdab mõõteelemendist tulevat nõrka signaali ning sageli annab sellele teise kuju (mitmelt andurilt tulevate signaalide summeerimine, pideva signaali üleviimine digitaalsele (numbrilisele) kujule jne.);

3) *täiturelement* on automaatkontrolli süsteemide lõppelemendiks, mille ülesandeks on kontrolli tulemuse näitamine või teadustamine (valgus- või helisignaaliga), registreerimine (graafiliselt diagrammilindile või numbrilisel kujul trükituna), analüüsimine või matemaatiline töötlemine, samuti signaalide tekitamine automaatjuhtimisseadme töölerakendamiseks (tööseadme häälestamiseks, kaitse- või sorteerimisseadme käivitamiseks jne.).

Praktilisi automaatkontrolli süsteeme on võimalik liigitada paljude tunnuste järgi. Kõigepealt on otstarbekas eristada järgmisi süsteeme:

a) lokaalse (paikse) kontrolli süsteemid, milles kõik elemendid moodustavad konstruktiivse terviku;

b) distantskontrolli süsteemid, kus andur ja täiturelement võivad paikneda teineteisest kaugel (mõnest meetrist mõnesaja meetrini) ja kus seetõttu kerkib üles kontrollsignaali distantsülekande vajadus, mis on paremini läbiviidav elektrilistes süsteemides (ka pneumaatilistes);

c) telekontrolli süsteemid, kus üksikute elementide vahemaad ulatuvad kümnete ja sadade kilomeetriteni ning kaugemale. See sunnib rakendama kontrollsignaalide (eranditult elektriliste) ülekandel erimeetodeid vajalike sideseadmete hulga ja segavate häirete mõju vähendamiseks.

Teisest küljest võib automaatkontrolli süsteeme liigitada

kontrollitavate parameetrite hulga alusel, jagades neid järgnevalt:

a) üksikkontrolli süsteemideks, mis on määratud üheainsa parameetri kontrolliks;

b) multikontrolli süsteemideks, mis on määratud rea parameetrite samaaegseks koordineeritud kontrolliks (näiteks võlli ovaalsuse automaatkontrolli süsteem peab mõõtma võlli läbimõõtu mitmes erinevas suunas ja tulemusi võrdlema);

c) tsentraalkontrolli süsteemideks, mille puhul teatava tervikliku tootmisprotsessi (või selle etapi) põhiliste parameetrite kontroll on koondatud ühte automaatkontrolli seadmesse.

Võib veel nimetada mitmeid teisi samalaadilisi, kuid vähem olulisi klassifikatsiooni võimalusi, nagu automaatkontrolli süsteemide jagunemine pidevatoimelisteks, tsüklilisteks ja episoodilisteks jne. Kõik need klassifikatsioonisüsteemid iseloomustavad ühest või teisest küljest automaatkontrolli süsteemide põhifunktsiooni — informatsiooni hankimist ja ümbertöötamist kontrollitava objekti ja selles toimuvate protsesside kohta (koos juhtimis-, hoiatus- jt. signaalide tekitamisega saadud informatsiooni põhjal).

Mis puutub automaatkontrolli süsteemide kasutamise eesmärkidesse ja ülesannetesse, siis sellest seisukohast võib eristada nelja süsteemide põhiliiki:

a) automaatsignalisatsiooni süsteemid;
b) automaatsed praakimis- ja sorteerimissüsteemid;
c) automaatmõõtesüsteemid;
d) automaatanalüsaatorid.

Lihtsaimad kõikidest automaatkontrolli süsteemidest on automaatsignalisatsiooni süsteemid. Tavaliselt peab selline süsteem suutma eristada kontrollitava parameetri (näit. temperatuuri) «normaalseid» ja «ebanormaalseid» väärtusi, s. o. signalisaator töötab etteantud kriitilise e. läviväärtuse suhtes «ja-ei»-printsiibil. Selle tõttu on signalisaatorid tavaliselt üles ehitatud mitmesuguste releede kasutamisele. Kontrollitava parameetri mõõtmise seisukohalt suudab automaatsignalisatsiooni süsteem eristada vaid ühte kontrollitava suuruse väärtust — läviväärtust. Mõnel juhul võib läviväärtus olla tühiselt väike ning siis reageerib signalisatsioonisüsteem lihtsalt kontrollitava parameetri või faktori olemasolule (aparatuuri korrasolek,

toormaterjali puudumine transportöörlindil, informatsioon tõstuki liikumise kohta jne.).

Automaatpraakimise seadmed töötavad sisuliselt sarnaselt signalisatsioonisüsteemidega (eristades «kõlblik — praak»), kuid omavad täiendavaid sõlmi (teistsuguseid täiturelemente) praakdetailide eraldamiseks (erinevasse liikumiskanalisse suunamiseks, praakdetaili märgistamiseks jne.). Enamasti leiavad kasutamist keerukamad seadmed, mis võimaldavad ka kõlblike detailide täiendavat grupeerimist alaliikideks («sortideks»). Taolisi seadmeid nimetatakse sorteerimisautomaatideks või automaatseiks klassifikaatoreiks. Seejuures kontrollitakse sageli kogu parameetrite seeriat. Nii näiteks transistoride automaatne klassifikaator sorteerib transistore algvoolu suuruse, vooluvõimendusteguri väärtuse ja muude parameetrite põhjal. Taoline sorteerimisseade suudab seega «mõõta» kontrollitava parameetri kahte või rohkem väärtust, mis vastavad sortide alaliikide vahepiiridele (kuid pole kohaldatud pidevaks mõõtmiseks).

Kontrollitavate suuruste täielikku mõõtmist võimaldavad automaatmõõteseadmed. Neis registreeritakse reeglina mõõtetulemused (näit. diagrammlindile). Mõõtmise tulemus võib olla antud pideval kujul (lõigu pikkusena või punkti kaugusena algasendist diagrammlindil jne.) või digitaalvormis (kas otse numbrilisel kujul või esitatuna mingi sümbolite koodiga sarnaselt morse tähestikuga telegraafias). Ka üksikdetailide koguhulga määramine, s. t. automaatloendamine, kuulub mõõtmise valdkonda.

Automaatanalüsaatorid on samuti keerukad mõõteseadmed, mis mitmesuguste ainete omaduste mõõtmise tulemusena võimaldavad määrata aine füüsikalis-keemilist koostist, struktuuri jm. Seetõttu kuuluvad sageli automaatanalüsaatorite juurde arvutusseadmed, mis näiteks aine tiheduse, elektrijuhtivuse jm. mõõtmise tulemuste alusel määravad kindlaks teatava keemilise komponendi kontsentratsiooni. Siia kuuluvad ka mitmesugused spetsialiseeritud tööprintsiibiga automaatmõõteseadmed, nagu gaaskromatograafilised, spektraalsed, mass-spektromeetrilised jt. analüsaatorid, samuti analüsaatorid füüsikaliste parameetrite ruumilise jagunemise (näit. temperatuurivälja) automaatseks määramiseks.

Üha keerukamate tootmisprotsesside kasutuselevõtmisega kaasajal suureneb ja muutub aina keerukamaks ka

automaatkontrolli aparatuur, mis on tootmispersonalile vajalik ülevaate saamiseks protsesside normaalse kulgemise kohta. Nii on keerukate keemiatööstuse protsesside jälgimiseks vaja kontrollida sadades üksikutes punktides temperatuure, vedelike koguseid ja nivoosid, gaaside rõhke jne. Sellest tingituna esineb märgatav tendents tsentraalkontrolli süsteemide üha ulatuslikumale rakendamisele. Muidu läheks üksikaparaatide hulk niivõrd suureks, et nende jälgimine ja tulemustest tervikliku ülevaate saamine osutuks praktiliselt võimatuks. Tsentraalkontrolli tingimustes aga tõuseb esiplaanile aparatuuri ja tehniliste vahendite unifikatsiooni küsimus. Pole ju teisiti mõeldav ühtse kontroll-informatsiooni kogumise ja töötlemise süsteemi loomine. Sellega seoses on automaatika üheks tähtsamaks kaasaegseks probleemiks unifitseeritud automaatikavahendite süsteemi loomine ja vastava aparatuuri tootmine, mis võimaldaks praktikas ehitada kõige mitmesugusemate ülesannete ja struktuuriga komplekssеid automaatkontrolli süsteeme.

II peatükk

Unifitseeritud automaatikavahendite süsteemid

Unifitseeritud elementide baasil koostatavate automaatikasüsteemide ideed kujunesid välja 1950. a. paiku ja on käesoleva ajani leidnud Nõukogude Liidus sihikindlat ja laiaulatuslikku arendamist. Kui varem automaatikaaparatuuri loomisel lähtuti nn. baaskonstruktsioonide printsiibist, siis nüüd on see asendatud täiuslikuma agregaatprintsiibiga. Baaskonstruktsioonide väikese muutmisega sai luua hulgaliselt modifikatsioone, mis rahuldasid mitmesuguste tööstusharude automatiseerimisel üleskerkivaid vajadusi. Põhiliseks kitsaskohaks jäi vastava aparatuuri massilise tootmise tülikus. Agregaatprintsiibi aluseks automaatikasüsteemi ulatuses on süsteemi koostamine tüüpilistest blokkidest, millest igaüks täidab kindlat tüüpilist funktsiooni. Vajalikud omadused saadakse blokkide hulga, liigi ja ühendusviisi varieerimisega. Agregaatprintsiip on aga kasutatav ka üksiku aparaadi ulatuses, mille sõlmed kujundatakse unifitseerituina ja kergesti asendatavaina. See võimaldab selliste aparaatide massilist tootmist ning lihtsustab ekspluatatsiooni (remont jne.).

Nõukogude Liidus väljatöötatud agregaatsüsteem kandis *automaatkontrolli, -signalisatsiooni ja -reguleerimise unifitseeritud süsteemi* nimetust (vene k. УСАКР — унифицированная система автоматического контроля, сигнализации и регулирования). See süsteem sisaldab mitmesuguseid andureid automaatkontrolli vajadusteks, mille elektriline väljundisignaal on kas alalis- või vahelduvpinge. Andurite signaalid antakse sekundaarmõõteriista, mis võimaldab kontrollitava parameetri täpset mõõtmist koos mõõtmise tulemuse registreerimisega. Sekundaarmõõteriistal on erisõlmed automaatsignalisatsiooni ja -reguleerimise jaoks. Sekundaarmõõteriistast võib signaalid edasi

juhtida kas regulaatorblokki ja sellest täiturelementi või ka otse viimasesse (näiteks signalisatsiooni korral). Kirjeldatud süsteem on ka käesoleval ajal laialt levinud, eriti automaatkontrolli vallas.

Viiekümnendate aastate lõpul realiseeriti Nõukogude Liidus täiuslikum agregaatsüsteemi variant — *unifitseeritud agregaatsüsteem* (vene k. АУС — агрегатная унифицированная система). See koosneb kahest paralleelsest harust: elektriline (ЭАУС) ning pneumaatiline agregaatsüsteem (ПАУС). Selle süsteemi iseärasuseks on unifitseeritud signaalide kasutamine süsteemi üksikute blokkide omavahelisel sidumisel. Elektrilises variandis kasutatakse unifitseeritud signaalina alalisvoolu 0,5—5 mA. Voolu minimaalväärtus vastab kontrollitava suuruse nullväärtusele (jääkvool iseloomustab aparatuuri ja ühendusliini korrasolekut), maksimaalvool aga suuruse maksimumile. Pneumaatiliseks signaaliks on suruõhu rõhk 0,2—1 at. Unifitseeritud signaalide kasutamise tõttu lisandub sellises süsteemis andurile unifitseerimismuundur, mille ülesandeks on andurist saadava signaali unifitseerimine. Niisuguse lisabloki kasutuselevõtmise kompenseerib see, et kõik järgnevad blokid on nüüd täielikult unifitseeritud. Iga funktsiooni jaoks on vajalik vaid üksainus bloki tüüp (välja arvatud täiturelemendid, mis erinevad võimsuse ja muude tehniliste karakteristikute poolest). Nii elektrilise kui ka pneumaatilise haru blokid on ka omavahel sidestatavad, kui kasutada selleks otstarbeks toodetavaid unifitseeritud signaalide pneumoelektrilisi ja elektropneumaatilisi muundureid. Tüüpiline automaatkontrolli süsteem vaadeldavas unifitseeritud agregaatsüsteemis koosneb andurist, unifitseerimismuundurist, millega on ühendatav kas indikaatorblokk (alalisvoolu milliampermeeter või manomeeter), registreerimisblokk või signalisatsiooniblokk koos täiturelementidega. Süsteem on kergesti täiendatav ka automaatjuhtimise ja -reguleerimise blokkidega.

Käesoleval ajal on lahendamisel veel ulatuslikum unifitseerimisülesanne, mille lõpptulemusena luuakse *riiklik mõõteriistade ja automaatika tehniliste vahendite süsteem* (vene k. ГСП — государственная система приборов и технических средств автоматики). Süsteem pole veel täielikult välja kujunenud, kuid see haarab ka unifitseeritud digitaalelemente, mille baasil on võimalik koostada suure

täpsusega digitaalseid (numbrilisi) automaatkontrolli süsteeme jm.

Olulisi täiustusi on viimastel aastatel tehtud ka pneumoautomaatika aparatuuris. Kuuekümnendate aastate algul püstitati pneumosüsteemide loomisel elementprintsiibi idee, mille kohaselt automaatikasüsteemi pneumoblokid koostatakse üksikutest unifitseeritud elementidest. Säärased lihtsad elemendid ühendatakse kommutatsiooniplaatidele, kus tehakse vajalikud elementidevahelised ühendused. Konstruktiivne (ka funktsionaalne) lahendus tuletab mõningal määral meelde progressiivseid raadio- ja elektroonikaaparatuuri konstrueerimismeetodeid. Elemendid ühendatakse kommutatsiooniplaatidega analoogiliselt elektronlambi ühendamisviisiga raadioaparatuuris, plaat valmistatakse trükilülituste tehnoloogiat meenutaval viisil. Üksikud elemendid täidavad raadioaparatuuris kasutatavate takistite ja kondensaatoritega analoogilisi funktsioone. Elementide süsteem sisaldab ka relee- ja loogikaelemente, mille baasil on võimalik üles ehitada ka pneumaatilisi digitaalseid automaatsüsteeme (on võimalik luua isegi pneumaatilisi arvutusmasinaid). Sellist kompleksi on hakatud nimetama *universaalseks tööstusliku pneumoautomaatika elementide süsteemiks* (vene k. УСЭППА — универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики). Süsteem on põhiliselt mõeldud pneumaatilise juhtimis- ja reguleerimisaparatuuri loomiseks, kuid on mõningal määral rakendatav ka automaatkontrolli valdkonnas. Senini on küll kirjeldatud süsteemi rakendamiskogemused automaatkontrolli aparatuuri loomisel puudulikud, kuid on põhjust arvata, et süsteem sobib näiteks pneumaatiliste tsentraalkontrolli automaatide loomiseks, mis reas tööstusharudes (tule- ja plahvatusohu tingimustes) on väga vajalikud. Kahtlemata jääb pneumaatiline automaatikaaparatuur toimekiiruse poolest elektrilisest maha, kuid paljude rakenduste jaoks osutub täiesti küllaldaseks.

Nagu näha, on kaasaja automaatikaaparatuuri tootmisel ja kasutamisel ulatuslikult rakendatud unifitseerimist, mille tähtsust on raske üle hinnata. Seejuures on aga automaatkontrolli süsteemid (võrreldes juhtimis- ja reguleerimissüsteemidega) unifitseerimise suunas kõige vähem läbi töötatud. See seletub automaatkontrolli süsteemide mitmekesisusega ning neile püstitatavate nõuetega, eriti täpsuse osas. Nii on füüsikaliste suuruste kontrolliks vajalik tohu-

tul hulgal erinevaid andureid, mille juures esmajärgulist tähtsust omab muundustäpsus. Unifikatsiooninõuet on võimalik arvestada alles teises järjekorras. Andurite signaalide unifitseerimiseks eraldi unifitseerimisblokkide kasutuselevõtmine aga viib paratamatult mõningale üldise täpsuse vähenemisele. Puudulikult on senini välja töötatud ka unifitseeritud täiturelemente automaatkontrolli süsteemidele, eriti automaatsignalisatsiooni- ja sorteerimise süsteemidele, mis seletub eeskätt praktika vajaduste mitmekesisusega.

III peatükk

Automaatsignalisatsiooni süsteemid

1. Signalisatsiooniseadmete põhiliigid

Nagu juba sissejuhatuses märgiti, informeeritakse automaatsignalisatsiooni süsteemide abil teenindavat personali tehnoloogilise protsessi käigust, kasutades selleks kokkuleppelisi signaale. Tehnoloogilise protsessi all tuleb seejuures mõista nii tehase, elektrijaama jne. tehnoloogilist protsessi kui ka raudteetranspordi, lennuki liikumise jne. normaalset protsessi. Eriti suur on automaatsignalisatsiooni osatähtsus kaasaegses transpordis — teisiti pole mõeldav kõikide transpordiliikide ohutu tegevuse tagamine.

Tavaliselt eristatakse järgmisi automaatsignalisatsiooni liike:

a) *kontrollsignalisatsioon* teadustab masinate ja mehhanismide töösserakendamisest või seiskamisest, mingi seadme või agregaadi oleku muutumisest, teatavate juhtorganite asendist jm. Kontrollsignaalid ei tohi liigselt häirida töötajat tööprotsessis, seepärast tekitavad kontrollsignalisatsiooni süsteemide täiturorganid enamasti valgussignaale. Seejuures kasutatakse sagedamini rohelise, sinise ja kollase valgusega signaallampe, kuid võib ka kasutada teisi värve;

b) *hoiatussignalisatsioon* teadustab masinate, seadmete või protsesside ohtlikest režiimimuutustest, mis edasisel jätkumisel võiksid põhjustada tõsiseid tagajärgi. Hoiatussignaal peab äratama teeninduspersonali tähelepanu otsekohe esimesest hetkest alates. Seepärast kasutatakse hoiatussignaalide andmiseks enamasti punase valgusega lampe. Hoiatussignaalid peavad olema märgatavad ja tajutavad mistahes valgustuse ja tootmismüra tingimustes. Kui valgussignaalid ei osutu küllalt efektiivseiks,

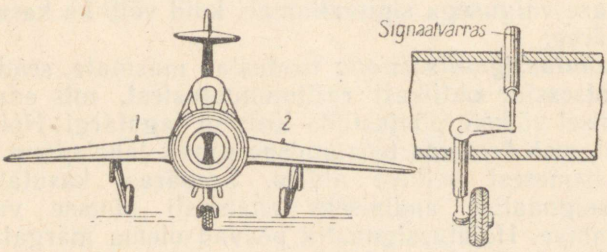
kasutatakse helisignaale, mille allikaiks võivad olla signaalkellad, viled, sireenid jm.;

c) *avariisignalisatsioon* leiab kasutamist, kui masina ettenägematu seisak, tootmisprotsessi ebanormaalne kulg, tulekahju, uputuse jms. tekkimise oht või mingi muu analoogiline olukord võib põhjustada otsese avarii või katastroofi. Nii näiteks automaattööpingi lõikeinstrumendi purunemisel lülitub sisse avariisignaal ning tööpink seisatakse.

Käesoleva ajani puudub ühtne ja üldtunnustatud automaatsignalisatsiooni meetodite klassifikatsioonisüsteem. Enamiku autorite arvates eespool toodud kolm põhiliiki kajastavad siiski kõige paremini automaatsignalisatsiooni süsteemide praktilisi rakendusi. Seejuures võib iga signaalsüsteem olla lahendatud lokaalse, distantse või telesignalisatsiooni süsteemina.

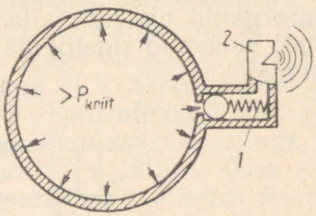
2. Lokaalsed automaatsignalisatsiooni süsteemid

Lokaalne (kohalik) automaatsignalisatsiooni seade on selline, mis paikneb kontrollitava objekti või protsessi vahetus läheduses. Lihtsaima näitena võiks tuua lennuki šassii (väljalükatud või sissetõmmatud) asendite mehaanilist signalisatsiooni (joon. 3-1). Selles süsteemis kasutatakse signalisaatoritena punaseks värvitud signaalvardaid. Sissetõmmatud šassii korral on signaalvardad peidetud tiiva sisse, šassii väljalaskmisel aga tõusevad tiiva pinnast kõrgemale (*1* ja *2*). Antud juhul on lenduril võimalik, jälgides visuaalselt signaalvarraste asendeid, määrata šassii paiknemist.



Joon. 3-1. Lennuki šassii asendi automaatsignalisatsioon

Paljudel juhtudel tekib vajadus vedelike või gaaside maksimaalse rõhu määramiseks mitmesugustes anumates. Selleks paigutatakse kaitseklapi või -ventiili torusse signalisatsioonielement, näiteks signaalvile. Joonisel 3-2 on kujutatud lokaalse signalisaatori põhimõtteskeem. Mõõte-



Joon. 3-2. Rõhu lokaalse signalisaatori põhimõtteskeem

element (vedru) *1* ja täiturorgan *2* on orgaaniliselt ühendatud ühtseks tervikuks — signalisaatoriks. Kui gaasi rõhk kasvab ettenähtust suuremaks, surutakse vedru *1* kokku ja gaasid tungivad signaalvile kaudu välja.

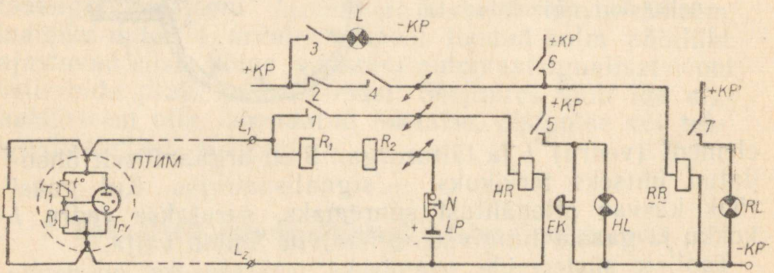
Taoliste süsteemide peamiseks iseärasuseks on nende lihtsus ja töökindlus. Lokaalsete automaatsignalisatsiooni süsteemide peamiseks puuduseks on aga see, et signaal ei ole edasiantav kaugema maa taha.

3. Automaatsignalisatsiooni distantssüsteemid

Distantssignalisatsiooni süsteemides on mõõteelement eraldatud täiturelemendist. Signaalid kantakse üle sidekanali kaudu, milleks enamasti kasutatakse õhu- või kaabelliine. Distantssüsteemid on praktikas leidnud laialaulatuslikku rakendamist. Vaatleme järgnevalt mõningaid näiteid.

Tööstuses, transpordis, kommunaalmajanduses ja mujal kasutatakse sageli automaatset tulekaitsesignalisatsiooni. Selleks paigutatakse kõige ohtlikumatesse kohtadesse tulekaitseteadustid, mis reageerivad juba tulekahju esimestele tunnustele. Kaasaegsetes tulekaitsesignalisatsiooni süsteemides kasutatakse mitut liiki teadusteid: soojuslikke, mis reageerivad ohtlikule temperatuuri tõusule (või ilmnevale suurele temperatuuri tõusukiirusele); lahtise leegi valguskiirgusele reageerivaid ning põlemisprodukte — suitsu — avastavaid teadusteid. Igal teadustil on vastav andur ning

relee, mille abil kantakse signaalid sideliinide kaudu üle vastuvõtuaparatuurile (täiturorganeile). Sideliinidena kasutatakse kas tavalisi vabu telefoniliine või ehitatakse spetsiaalsed hargnevad kaabelliinid. Vastuvõtuaparatuur on ühine enamasti mitmekümnele teadustile ning sisaldab nii kogu signalisatsioonisüsteemi toiteallikad, signaalide täiturorganid nii signaallampide kui ka sireenide näol, samuti vahendid sideliinide korrasoleku pidevaks kontrollimiseks.



Joon. 3-3. Automaatse tulekaitsesignalisaatori skeem

Praegu on Nõukogude Liidus üheks levinumaks soojuslikuks tulekaitseteadustiks termistoridel töötav ПТИМ (lühend venekeelsest nimetusest — полупроводниковый тепловой извещатель максимального действия), mille skeem on kujutatud joonisel 3-3. See koosneb kolmest põhiosast: termistorist T_1, häälestustakistist R_2 ning külmkatoodtüratronist T_r. Teadusti skeem tagab kõrge tundlikkuse. Normaalse temperatuuri tingimustes jaguneb teadustile ühendusliini kaudu antav alalispinge (120 V) proportsionaalselt häälestustakisti ja termistori takistusele ning häälestustakisti muutmisega valitakse külmkatoodtüratroni juhtelektroodile antav pinge madalamana türatroni süttimispingest. Selle tulemusena huumlahendus türatronis ja ühtlasi ka vool selles puudub. Temperatuuri tõusuga kaasneb termistori takistuse märgatav vähenemine (2 . . . 5%/deg) ning juhtelektroodi pinge suurenemine. Kui see pinge on kasvanud vajaliku määrani, süttib türatron ning teadusti rakendub. Siis tekib ühendusliinis tugev vooluimpulss, millega antakse vastuvõtuaparaati signaal teadusti rakendumise kohta. Türatroni kasutamisel tekib

releele iseloomulik vooiu hüpe ilma sädelemisele kalduvate avatud kontaktideta (mis paljude objektide korral on küllaltki tähtis).

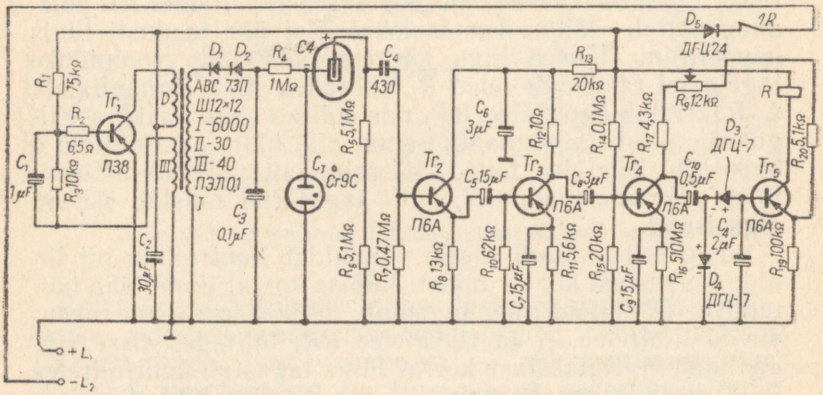
Tüüpiline vastuvõtuaparaadi skeem on toodud joonisel 3-3. See sisaldab liinikomplekti, mis koosneb releedest R_1 ja R_2 ning signaallambist *L*, häirereleest *HR* ning rikkereleest *RR* koos vastavate signalisatsioonielementidega. Igal teadustil on omaette liinikomplekt, häirerelee ja ühised rikkereleed. Liinitoiteallika *LP* pinge on 120 V, vastuvõtuaparaadi kohalikul allikal *KP* aga 24 V. Skeem töötab järgmiselt: normaalolekus on liinis kontrollvool, mis hoiab relee R_2 rakendatuna (relee R_1 rakendamiseks on aga vool mitteküllaldane). Relee R_2 kontakt *4* lülitab sisse rikkerelee *RR*, mille tulemusena vastava signaallambi *RL* põlemine näitab seadme korrasolekut. Kui ühe teadusti liinis temperatuur tõuseb liiga kõrgeks, siis selle voolutõuke tagajärjel rakendub relee R_1, lülitades sisse signaallambi *L*. Rakendub häirerelee *HR*, mis lülitab sisse vastava valgus- ja akustilise signaali. Samal ajal häirerelee kontakt *6* blokeerib rikkerelee toite. Häiresignaali väljalülitamiseks tuleb vajutada nupule *N*, mille tagajärjel taastub skeemi algseisund.

Vastuvõtuaparaadi skeem võimaldab kontrollida nii liinide katkestust kui ka lühist. Lühise korral liinis jääb häirerelee *HR* toiteta ning tagastub, mille tulemusena rakenduvad liinirelee R_1 ja rikkerelee *RR*, lülitades sisse signaallambid. Katkestuse korral liinis tagastub kontrollrelee R_2, tagastades omakorda rikkerelee *RR* ning lülitades sisse rikke signalisatsiooni.

Teadusti ПТИМ on normaalselt määratud kestvaks töötamiseks keskkonna temperatuuril −40 kuni +60° C suhtelise niiskuse kuni 80% juures. Normaalseisus ei ületa normaalne energiakulu $4 \cdot 10^{-3}$ W.

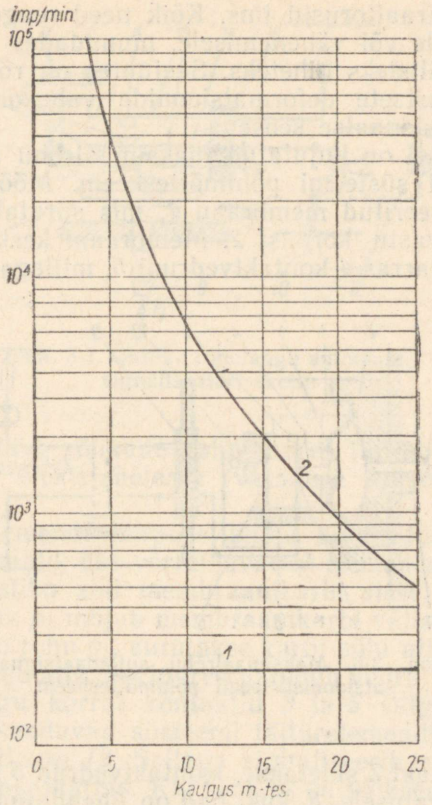
Lahtise leegi kiirgusele reageerivate tulekaitseteadustite näitena vaatleme automaatteadusti АИП-I tööpõhimõtet. Teadusti reageerib ultraviolettkiirgusele, millega on tagatud segava päevavalguse, samuti kunstlike valgusallikate vähene mõju siseruumides, kuna ultraviolettkiirgus nendest allikatest neeldub kas aknaklaasides või valgustite klaaskestas. Teadusti reageerib praktiliselt silmapilkselt lahtisele küünlaleegile kuni 10 m kauguselt, ühe tuletiku süütamisele aga isegi kuni 25 m kauguselt. Teadusti põhiosaks ja ühtlasi ultraviolettkiirguse tajuriks on footonloen-

dur СФК-I. Footonloenduri fotokatood on puhtast vasest, mis on tundlik ultraviolettkiirgusele lainepikkusega mitte üle 0,3 μm. Samal ajal laseb loenduri kvartsklaasist kest läbi ultraviolettkiirgust juba alates 0,2 μm. Teadusti elektriskeem on näidatud joonisel 3-4. Selle põhiosadeks on kiirgustajur *C4*, pingemuundur tajuri toitmiseks kõrgepingega (1200 V), transistorimpulssvõimendi ning elektromagnetiline relee *R*. Kogu seadet toidetakse alalispingega vastuvõtuaparaadist kahejuhtmelise ühendusliini (L_1—L_2) kaudu. Vajaliku tööea ja töökindluse saavutamiseks on kogu elektriskeem valmistatud väikesegabariidilistest raadiodetailidest — pooljuhtidest.



Joon. 3-4. Fotoelektrilise tulekaitsesignalisaatori skeem

Ultraviolettkiirguse toimel tekivad footonloenduris vooluimpulsid sõltuvalt kiirguse intensiivsusest. Joonisel 3-5 on näidatud kõveraga *2* impulsside sagedus sõltuvalt valgusallika (normaalne steariinküünal) kaugusest. Kõver *1* samal joonisel näitab normaalsete valgusallikate segavat toimet. Loendurist saadavad pingeimpulsid (ca 0,5 V amplituudiga) võimendatakse impulssvõimendiga, mis koosneb transistoridest Tr_2, Tr_3 ja Tr_4. Võimendatud impulsid antakse integreerimislülitusse, mis koosneb kondensaatorist C_4 ja dioodidest D_3 ja D_4. Integreerimislülituse väljundis tekkiv pinge on proportsionaalne impulsside keskmise sagedusega ja sellega tüüritakse alalispingevõimendit transistoril Tr_5. Küllaldase intensiivsuse korral (kohane



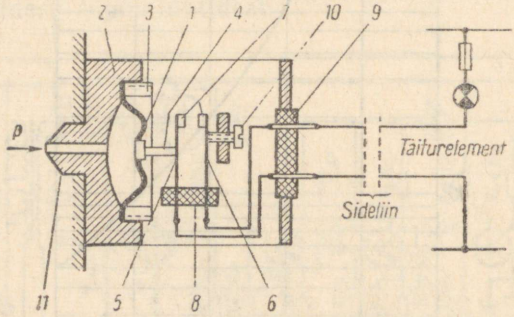
Joon. 3-5. Footontajuri tundlikkuse karakteristik

määr on reguleeritav takisti R_9 abil) rakendub elektromagnetiline relee R, andes liini kaudu edasi häiresignaali vastuvõtuaparaati. Antud teadusti on määratud töötamiseks komplektis vastuvõtuaparaadiga «Пламя», mille komplekti kuulub 10 või 20 teadustit. Vastuvõtuaparaadi tööpõhimõte on üldiselt sarnane varem vaadelduga. Teadusti suure tundlikkuse tõttu võib õige paigutuse korral ühe teadustiga kontrollida kuni 600 m² suurust pinda.

Paljudes tööstusharudes võib kohata piirrõhkude ja -hõrenduste automaatsignalisatsiooni süsteeme. Tajureina kasutatakse nendes süsteemides tavaliselt membraane,

sülfoone, spiraaltorusid jms. Kõik need reageerivad rõhu suurenemisele või vähenemisele, muundades rõhu muutused mehaanilisteks niheteks. Seejuures on rõhu muutuste ja tajuri elastsete deformatsioonide vahekord määratud kindla funktsionaalse seosega.

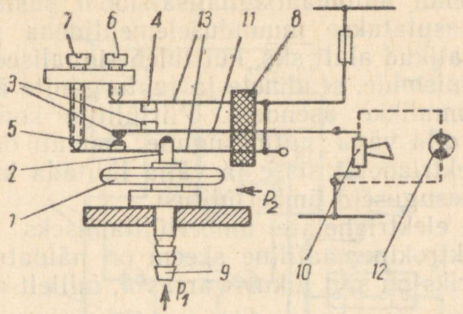
Joonisel 3-6 on kujutatud maksimaalrõhu automaatsignalisatsiooni süsteemi põhimõtteskeem. Mõõteelemendiks on siin gofreeritud membraan *1*, mis surutakse kinnitusrõngaga *3* vastu korpust *2*. Membraani keskosast ulatub isoleeritud varras *4* kontaktvedruni *5*, millega rõhu suure-



Joon. 3-6. Maksimaalrõhu automaatsignalisatsioonisüsteemi põhimõtteskeem

nemisel kontakt *7* suletakse. Kontaktvedrud *5* ja *6* on kinnitatud isoleeralusele *8*, kust nad on ühendatud juhtmetega pistiku *9* külge. Pistik on ühendatud sideliini kaudu täiturelemendiga. Rõhku, mille juures kontaktid *7* sulguvad, on võimalik häälestada kontaktvedru *6* algasendi muutmisega häälestuskruvi *10* abil. Rõhu suurenemisel membraanile *1* lülitub sisse signaallamp, mis rõhu edasisel vähenemisel lülitatakse uuesti välja. Kontaktid on antud süsteemis muunduselementideks, mille abil membraani mehaaniline liikumine muundatakse elektrisignaaliks.

Joonisel 3-7 on toodud ohtliku rõhulangu automaatsignalisaatori skeem. Paljude seadmete juures on liigse rõhulangu esinemine lubamatu ja ohtlik. Vaadeldav süsteem sobib hoiatussignaali tekitamiseks. Mõõteelemendina kasutatakse antud juhul membraankarpi *1*. Rõhu muutumisel karbis või väljaspool karpi hakkab tsentraalvarras *2* nih-



Joon. 3-7. Ohtliku rõhulangu automaat-signalisaatori skeem

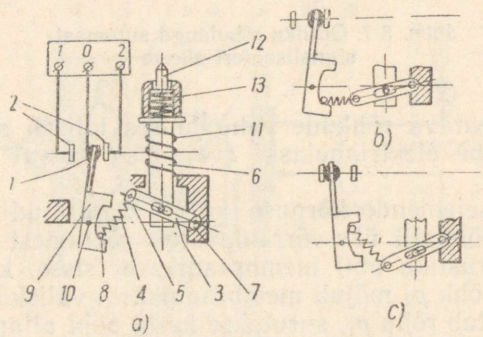
kuma ja teatava rõhkude vahe juures lülitab sireeni või signaallambi elektriahelasse (vajaduse korral ka mõlemad).

Muunduselemendi korpuse külge kinnitatud stutseri *9* kaudu on võimalik üks võrreldavatest rõhkudest p_1 juhtida vastava torustiku abil membraanikarbi sisse, kuna teine võrreldav rõhk p_2 mõjub membraanikarbi väliskülgele. Kui rõhk p_2 ületab rõhu p_1, surutakse karbi põhi allapoole ning varras *2* nihkub alla. Seejuures paindub vedru *11* ning teatava rõhulangu korral kontaktid *3* ja *5* sulguvad. Selle tagajärjel rakenduvad süsteemi täiturelemendid — sireen *10* ja signaallamp *12*. Sellega signaliseerib süsteem alarõhku membraanikarbis. Kui rõhk p_2 on väiksem rõhust p_1, paisub membraanikarp *1* ning tsentraalvarras *2* suleb teatavate rõhkude p_2 ja p_1 korral kontaktid *3* ja *4*. Sel viisil signaliseeritakse ülerõhu tekkimist karbi sees.

Kaasaegsete lennukite juures kasutatakse sissetõmmatavaid šassiisid. Avarii vältimiseks on äärmiselt vajalik teada, millises asendis šassii asub. Sel eesmärgil varustatakse lennukid šassii asendi automaatsignalisatsiooni süsteemidega. Seejuures rakendatakse nii valgussignalisatsiooni (kontroll) kui ka helisignalisatsiooni (hoiatus). Helisignaal peab meeskonda kiiresti hoiatama šassii seisundi mittevastavuse puhul ning äratama tähelepanu mistahes tingimustes. Seepärast lülitub sireen töösse näiteks, kui lendur maandumisele asumisel lülitab gaasikangi asendisse «väike gaas», kuid šassii ei väljunud seejuures üldse või väljus ainult osaliselt.

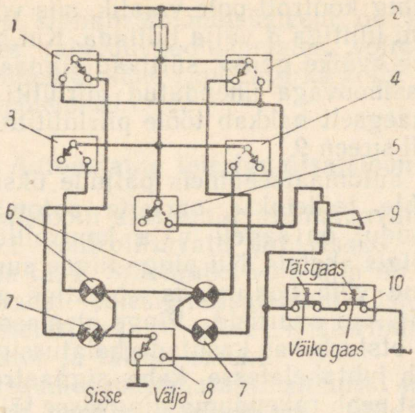
Sassii asendi automaatsignalisatsiooni süsteemis, aga ka mujal kasutatakse muunduselementidena piirlüliteid. Need on vajalikud alati siis, kui tuleb signaliseerida masinate, mehhanismide, seadmete ja juhtorganite äärmisi või muid iseloomulikke asendeid. Piirlülitite konstruktiivne ehitus võib olla väga mitmesugune, samuti on nendega võimalik elektriahelat sisse ja välja lülitada kui ka sooritada mitmesuguseid ümberlülitusi.

Tüüpiliste elektriahelate ümberlülitamiseks kasutatava piirlüliti elektrokinemaatiline skeem on näidatud joonisel 3-8, *a*. Tajuriks on siin liikuv varras *6*, millelt antakse lii-



Joon. 3-8. Piirlüliti BK elektrokinemaatiline skeem

kumine edasi vedru-kangi-süsteemile. Viimane koosneb kangist *3* ja vedrust *4*, mis on ühendatud šarniirselt teljega *5*. Varda *6* ots liigutab kangi *3* pöördetsentri *7* ümber. Muunduselemendiks on kontaktsüsteem, mis koosneb kahest paigalseisvast ja ühest liikuvast kontaktist. Liikuva varda nihkumise korral lülitatakse kontaktid ühest asendist teise järgmiselt. Varda *6* vajutamisel pöördub kang *3* ja surub kokku vedru *4*, kuni tekib olukord, kus vedru otspunkte ühendavate telgede *8* ja *5* ühendusjoon on risti kontaktide aluse *9* profiilpinnaga. Vedru-kangi-süsteem püsib sellises ebastabiilses asendis ainult hetke ja võtab kohe joonisel 3-8, *b* kujutatud asendi. Kangi *3* edasisel pöördumisel hakkab vedru *4* pikenedes suruma kontaktide alust *9* telje *10* suhtes, lülitades kontaktid ümber (joon. 3-8, *c*). Selline suhteliselt keerukas lüliti on vajalik hetklülitamise saavutamiseks, mis vähendab leegi tekkimise võimalust



Jcon. 3-9. Lennuki šassii asendi automaatsignalisatsioonisüsteemi skeem

ümberlülitamisel. Surve kadumisel vardale (tajurvardale) *6* läheb kogu süsteem tagastusvedru *11* mõjul algasendisse.

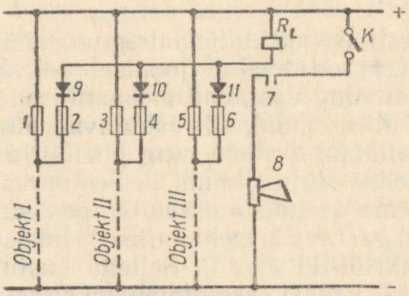
Mehaaniliste liigkoormuste vältimiseks, mis võivad purustada piirlüliti ja tekivad lüliti ebatäpsest paigutamisest montaažil, varustatakse ta tavaliselt mehhanismiga, mis võimaldab varda *6* mõningat nihet ka pärast kontakti ümberlülitumist. See mehhanism koosneb nupust *12* ja vedrust *13*, mille jäikus on suurem kui tagastusvedrul *11*, kuid mis annab tajurivardale siiski teatava pikielastsuse.

Lennuki šassii asendi automaatsignalisatsiooni süsteemi elektriline skeem on toodud joonisel 3-9. Kui šassii on täielikult väljas ning vastavad mehaanilised lukustid selle asendi jäigalt fikseerinud, siis lahutavad piirlülitid *3* ja *4* punase signaallambi *6* ahela ning piirlülitid *1* ja *2* lülitavad sisse rohelise signaallambi *7*. Seejuures peab ümberlüliti *8* paiknema asendis «sisse». Niipea kui šassii sissetõmbamisel tagastuvad mehaanilised lukustid, lülituvad kohe ümber piirlülitid *1* ja *2*. Sellega kustuvad rohelised signaallambid *7*. Pärast šassii täielikku sissetõmbamist aga lülituvad ümber piirlülitid *3* ja *4* ning sulevad punaste signaallampide *6* ahela. Vahepealses asendis ükski signaallamp ei põle. Kui lennul punased signaallambid segavad

meeskonda ning kontroll pole vajalik, siis võib signalisatsioonisüsteemi lülitiga *8* välja lülitada. Kui aga gaasihoob viia asendisse «väike gaas», süttivad signaallambid automaatselt gaasihoovaga ühendatud piirlüliti *10* kontaktide kaudu. Samaaegselt hakkab tööle piirlülitite *1* ja *2* kaudu avariisignaali sireen *9*.

Keerukais automaatseadmeis paljude üksikobjektidega, millest igaühte toidetakse omaette automaatlülitite või kaitsmete kaudu, on sageli vaja kontrollida toitepinge olemasolu kõigis ahelais. Nii pinge liigne suurenemine kui ka vähenemine võib põhjustada objektide ebanormaalset töötamist või isegi avariisid. Pinge olemasolu kontrolliks on sel puhul otstarbekas kasutada hoiatussignalisatsiooni. Selleks piisab juhtahelatesse kahe signaalrelee lülitamisest. Üks neist peab rakenduma ning sisse lülitama valgus- või helisignaali pinge liigsel suurenemisel, teine aga liigsel vähenemisel.

Eriti oluline on tootmispersonali informeerimine üksikute tööstusseadmete ettenägematust seiskamisest või tootmisprotsessi normaalrežiimi katkemisest. Selline olukord võib seadmes tekkida toitepinge kadumisel (näiteks kaitsme läbipõlemisel jne.). Toiteahelate automaatkontroll on toodud joonise 3-10 skeemil. Normaalolukorras on eriline signaalrelee R_L toiteta, kuna see on kaitsmete *1*, *3* ja *5* kaudu lühistatud. Ühe kaitsme läbipõlemisel tekkiv vool läbib signaalrelee R_L. Viimane rakendub ning lülitab kontaktidega *7* vooluringi sireeni *8*. Pooljuhtdioodide *9*, *10* ja *11* tõttu teiste objektide toiteahelate režiim seejuures ei



Joon. 3-10. Toiteahelate pinge automaatsignalisatsioonisüsteemi skeem

muutu. Taoline signalisatsioonisüsteem on kasutatav ka kolmefaasilistes vahelduvvooluahelates, võimaldades signaali saamist ühe või kahe (muidugi ka kõigi kolme) faasi kaitsmete läbipõlemisel.

4. Automaatne telesignalisatsioon

Telesignalisatsiooni süsteemid võimaldavad informatsiooni ülekannet kontrollitavate protsesside kohta väga kauge vahemaa taha. Sideliiniks võib olla nii traatliin kui ka raadiosidekanal. Telesignalisatsiooni süsteem koosneb reeglina järgmistest osadest: andur, kodeerimisseadis, sidekanal, dešifraator ja täiturelement.

Kodeerimisseadmes muundatakse andurist saabunud signaalid tavaliselt impulss-signaalideks (mida on otstarbekas liini suunata). Kontrollinformatsiooni kandjaks on sellistel signaalidel teatavad impulsside omadused, nn. impulsstunnused. Telesignalisatsiooni süsteemides kasutatakse kõige rohkem järgmisi impulsstunnuseid:

1) alalisvoolu impulsside polaarsus (joon. 3-11, *a*), kusjuures nii impulsi amplituud kui ka kestus on mõlema polaarsuse korral püsiv $U_1 = U_2$ ja $t_1 = t_2$;

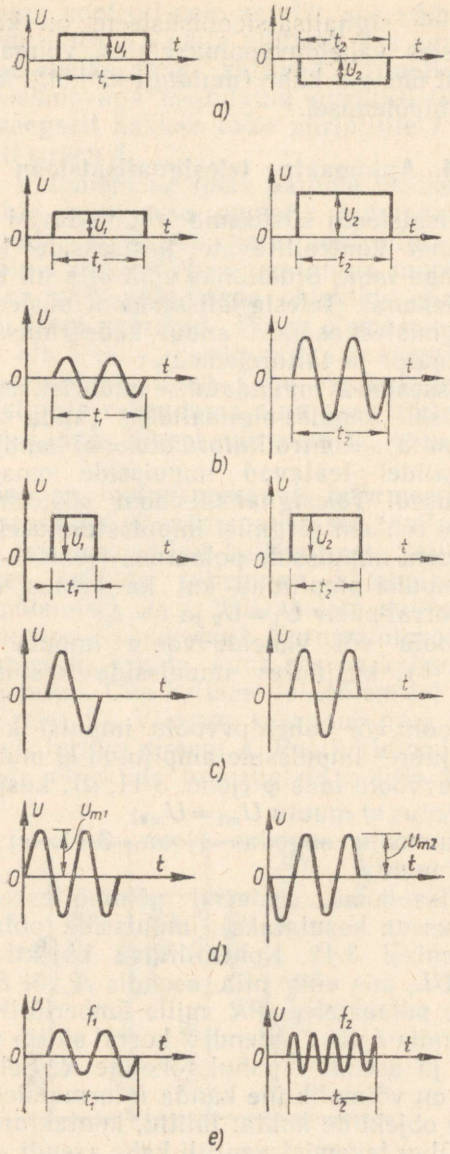
2) alalisvoolu või vahelduvvoolu impulsi amplituud (joon. 3-11, *b*), kusjuures impulsside kestus ei muutu $t_1 = t_2$;

3) alalisvoolu või vahelduvvoolu impulsi kestus (joon. 3-11, *c*), kusjuures impulsside amplituud ei muutu $U_1 = U_2$;

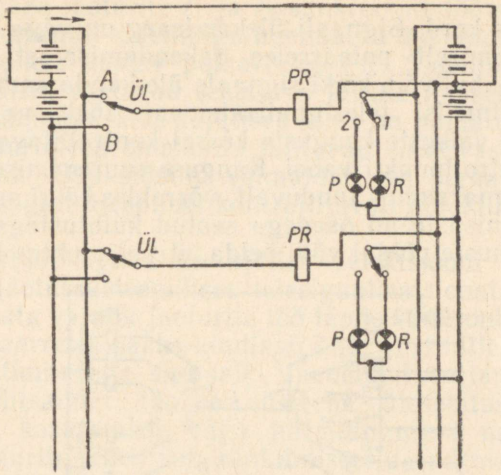
4) vahelduvvoolu faas φ (joon. 3-11, *d*), kusjuures amplituud ja sagedus ei muutu $U_{m1} = U_{m2}$;

5) vahelduvvoolu sagedus (joon. 3-11, *e*), kusjuures amplituud ei muutu.

Telesignalisatsiooni süsteemi põhimõtteskeem, milles impulsstunnusena kasutatakse impulsside polaarsust, on näidatud joonisel 3-12. Kontrollitava objekti juures on ümberlüliti *ÜL*, mis võib olla asendis *A* või *B*. Kontrollpunktis asub polaarrelee *PR*, mille ümberlülituv kontakt võib olla asendis *1* või *2*. Asendi *2* korral süttib punane signaallamp *P* ja asendi *1* puhul roheline *R*. Sellise skeemi kasutamisel on võimalik üle kanda informatsiooni kahepositsiooniliste objektide kohta: lülitid, kontaktorid, kraanid, siibrid jne. Olgu tegemist ventiili kahe asendi — «avatud» või «suletud» — telesignalisatsiooniga. Ventiili asendile «avatud» vastaku ümberlüliti *ÜL* asend *A*. Sel puhul tekib



Joon. 3-11. Telesignaalide impulss-tunnused



Joon. 3-12. Telesignalisatsiooni polaarsüsteem

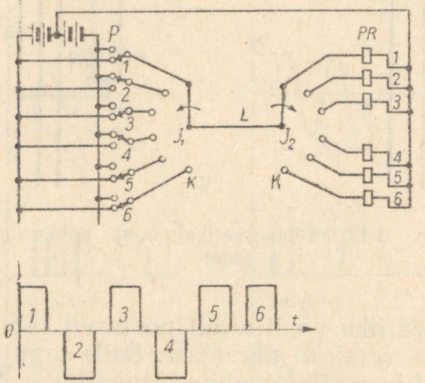
vooluahel toiteallika positiivselt pooluselt läbi polaarrelee mähise suunas vasakult paremale. Selle tagajärjel sulgub relee kontakt *1* ja süttib roheline signaallamp. Suletud ventiili korral on aga lüliti *ÜL* asendis *B* ning polaarrelee mähist läbib vool vastassuunas, paremalt vasakule. Seejuures sulgub kontakt *2* ning süttib punane lamp.

Polaarrelee võimaldab kontakte ümber lülitada asendist *1* asendisse *2* või vastupidi, sõltuvalt voolu suunast relee mähises (toitepinge polaarsusest). Seejuures väheneb vajalike ühendusjuhtmete arv kolmelt kaheni. Kodeerimisseadmeks on antud juhul ümberlüliti *ÜL* ning dešifraatoriks polaarrelee PR, impulsstunnuseks aga on voolu polaarsus.

Kui on vaja signaali ülekanne ka teise ventiili asendi kohta, tuleb lisada teine analoogiline skeem. Kokku on siis aga tarvis vaid kolm juhet, kuna üks juhtmetest (joon. 3-12 ülemine) on ühine. Üldiselt on n kontrollitava objekti kohta vaja $n+1$ ühendusjuhet. Vaadeldud telesignalisatsiooni süsteem kuulub paljujuhtmeliste telesüsteemide liiki, omades elektrilist signaalide selektsiooni. Sellistes süsteemides kantakse iga juhtme kaudu üle üht suurust iseloomustavad signaalid ehk, teisiti väljendades, iga sidekanalit kasuta-

tatakse üks kord. Signaali ülekandeaeg on väga lühike ja sõltub peamiselt polaarrelee rakendumisajast. Paljude objektide puhul võib kõiki signaale üle kanda samaaegselt.

Paljujuhtmelisi telesignalisatsiooni süsteeme kasutatakse üsna väikeste kauguste korral kontrollitavate objektide ja kontrollpunkti vahel. Kauguse suurenemisel kasvab sideliinide maksumus tunduvalt, võrreldes kõigi muude signalisatsioonisüsteemi osadega seotud kulutustega. Praktiliste kogemuste põhjal võib öelda, et paljujuhtmelised süs-



Joon. 3-13. Ajalise selektsiooniga telesignalisatsioonisüsteem

teemid õigustavad end kaugusteni mitte üle 1 . . . 2 km ja sedagi eeldusel, et kontrollitavate suuruste üldarv on väike. Teistel juhtudel kasutatakse telesignalisatsiooni süsteeme ajalise või sagedusliku signaalide selektsiooniga.

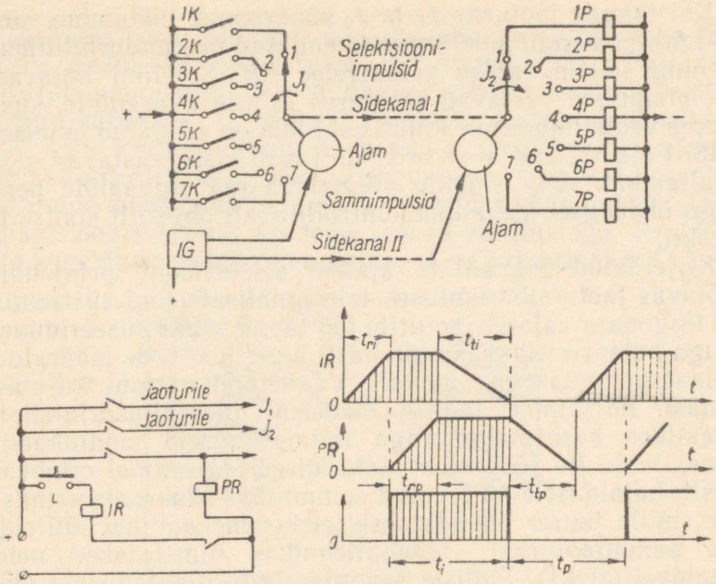
Ajalise selektsiooniga telesignalisatsiooni süsteemidele on omane sama sidekanali paljukordne kasutamine. Sel eesmärgil varustatakse nii kodeerimisseade kui ka dešifraator signaalijaoturitega (joon. 3-13). Kontrollitavate objektide juures ülesseatud andurlülitite *P* kontaktid ühendatakse jaoturi J_1 kontaktidega *K*. Jaotur ühendab neid järjekorras kindlate ajavahemikkude järel sideliiniga *L*. Lülitite *P* asend määrab seejuures jaoturi kaudu sideliini pääseva signaali polaarsuse. Kontrollpunktis paikneb teine samasugune jaotur, mille kontaktidega on ühendatud polaarreleed *PR*. Viimaste kontaktide abil lülitatakse sisse signaallambid.

Kui tagada jaoturite J_1 ja J_2 sünkroonne töötamine, siis on igal momendil sideliiniga ühendatud üks andurlülititest *P* ning sellele vastav polaarrelee *PR*. Sideliini antavad vooluimpulsid vastavad seejuures lülitite *P* asendile, kusjuures vooluimpulsside kujutised liinis on näidatud joonisel 3-13. Polaarreleed omakorda lülitavad sisse vastavad signaallambid.[1] Üks sideliin võimaldab rea signaalide peaaegu üheaegset ülekannet kontrollitavalt objektilt kontrollpunkti.

Kirjeldatud signaalide ajalise selektsiooni printsiibil töötavas jaotussüsteemilises telesignalisatsiooni süsteemis on tingimata vajalik jaoturite töö täpne sünkroniseerimine, et iga polaarrelee saaks kindlasti õige, just talle määratud polaarsustunnusega signaali. Vaadeldud variant kujutas endast lihtsaimat taolise süsteemi ülesehitusprintsiipi. Praktikas kasutatakse väga mitmesuguseid modifikatsioone. Jaoturite tööd võib sünkroniseerida mitmel erineval viisil. Laialdaselt on levinud sammtüüpi sünkroniseerimisviis, mille juures kasutatakse elektromehaanilisi lüliteid, nn. sammjaotureid (telefonitehnikas nimetatakse neid sammvalijateks). Selliste sammjaoturite nihutamiseks ühe sammu võrra kasutatakse vastavaid impulssgeneraatoreid. Vaatleme lähemalt releeimpulssgeneraatori (nn. pulsspaari) tööprintsiipi (joon. 3-14). Lihtsaimal juhul koosneb see kahest elektromagnetilisest releest: impulsireleest *IR* ja pausireleest *PR*.

Impulsireleel on kolm kontaktipaari. Toiteta relee puhul on kõik kontaktid avatud (tegemist on seega sulguvate kontaktidega). Pausireleel on aga üks avanev kontakt, mis on ühendatud impulsirelee *IR* toiteahelasse. Viimase kontaktidest üks on ühendatud pausirelee toiteahelasse, ülejäänud aga sammjaoturite elektromagnetite toiteahelatesse. Impulssgeneraator lülitatakse töösse lüliti *L* sulgemisega. Selle tulemusena rakendub relee *IR*, sulgedes oma kolm kontaktipaari. Kahe kontakti abil lülitatakse sisse sammjaoturite elektromagnetid ning nende kontaktid nihkuvad ühe sammu võrra edasi. Kolmas paar aga lülitab sisse pausirelee *PR*. Viimane lahutab omakorda impulsirelee *IR* toiteahela ning tagastumisaja möödumisel impulsirelee

[1] Voolu lakkamisel polaarrelee mähises jääb see endisesse asendisse. Seepärast jäävad signaallambid põlema ka siis, kui jaotur ühendab järgmisi lüliteid vastavate polaarreleedega.



Joon. 3-14. Sammtüübilise sünkroniseerimisviisiga telesignalisatsioonisüsteem

tagastub, lahutades kõik oma kontaktid. Sellega katkeb sünkroniseerimissignaal ning sammjaoturi elektromagnetid tagastuvad, valmistudes järgmise impulsi vastuvõtuks. Vastav mehhanism ei luba aga sammjaoturi kontaktidel tagasi nihkuda ning need jäävad püsima uude asendisse. Seejuures teevad mõlemad jaoturid sammu täiesti üheaegselt. Samal ajal aga põhjustab impulsirelee tagastumine ka edasist pausirelee tagastumist selle toiteahelas oleva kontakti lahutumise tõttu. Pärast pausirelee tagastumist selle kontakt impulsirelee toiteahelas sulgub uuesti ning algab kogu impulssgeneraatori uus tsükkel, mille tulemuseks on jaoturite järgmine samm. Impulssgeneraatori töötamine ja sellega ka signaaliimpulsside ülekanne kestab seni, kuni on suletud lüliti L.

Impulssgeneraatori töö ajadiagrammilt (joon. 3-14) on näha, et generaatori tööperiood koosneb impulsi kestusest t_i ja pausi kestusest t_p:

$$T = t_i + t_p.$$

Vaadeldud jaotussüsteemilises telemehaanika süsteemis on tavaline perioodi pikkus 100—180 ms. Impulsi kestus t_i on määratud pausirelee rakendumisajaga t_{rp} ja impulsirelee tagastumisajaga t_{ti}:

$$t_i = t_{rp} + t_{ti}.$$

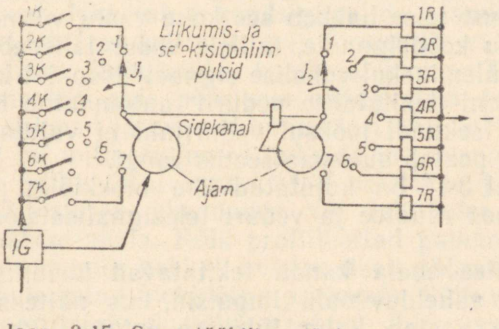
Pausi kestus t_p on aga leitav pausirelee tagastumisaja t_{tp} ja impulsirelee rakendumisaja t_{ri} summana:

$$t_p = t_{tp} + t_{ri}.$$

Seega sõltub impulsside kestus ja pausi vältus releede rakendumis- ja tagastumisaegadest, mille muutmisega saabki mõjutada kogu telesüsteemi töötempot.

Vaadeldud näites on sünkroniseerimisimpulsside ülekandeks vajalik eraldi sideliin, s. o. need kantakse üle sõltumatu kanali kaudu. On aga võimalik koostada ka selliseid skeeme, kus signaali ja sünkroniseerimisimpulsside ülekanne toimub sama sideliini kaudu. Sel puhul antakse sünkroniseerimisimpulssidele kontrollsignaali ülekandeks vajalik impulsstunnus, näiteks üks või teine polaarsus. Impulssgeneraatori ühendusviis sellise juhtumi jaoks on toodud joonisel 3-15.

Vaadeldud ajalise selektsiooniga telesignalisatsiooni süsteem oli koostatud releedest ja lülititest. Viimasel ajal on aga laialdaselt hakatud rakendama analoogilistes skeemides töökindlamaid kontaktivabu elektron-, pooljuht- või



Joon. 3-15. Sammtüübilise sünkroniseerimisviisiga telesignalisatsioonisüsteemi variant

magnetelemente. Kasutades nimetatud elemente, on võimalik üles ehitada telesignalisatsiooni süsteeme kõige mitmesugusemate impulsstunnuste baasil.

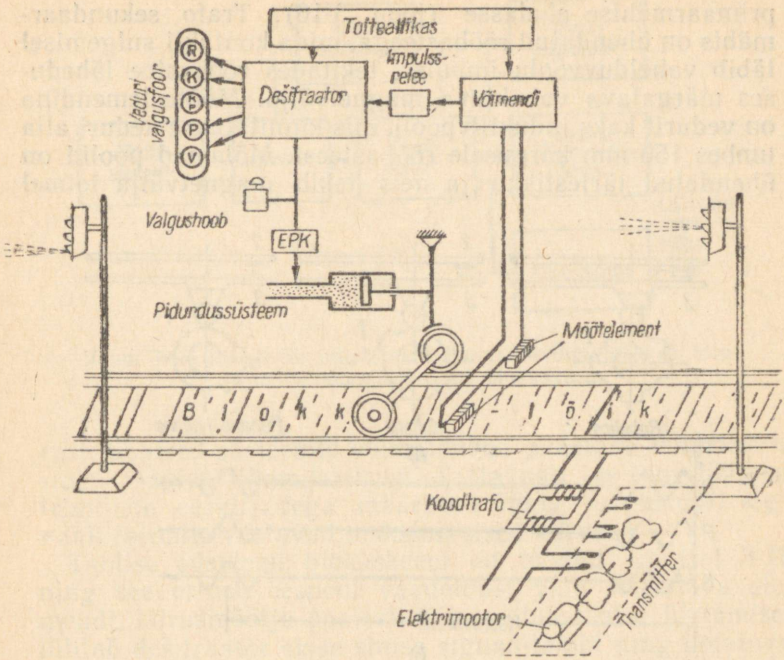
Huvitav ja ulatuslik on raudteetranspordis kasutatav automaatne veduri telesignalisatsiooni süsteem. Süsteemi põhiideeks on raudtee valgusfooride signaalide automaatne ülekanne veduri valgusfoorile. Lisaks signalisatsiooniülesannetele võimaldab see süsteem kontrollida ka vedurijuhi tähelepanu, tema reaktsiooni saadud signaalidele. Kui veduri valgusfoorile ilmub keelusignaal, peab masinist vajutama erilisele hoovale, kinnitades sellega, et ta on signaali märganud. Kui ta «valvsushoovale» ei vajuta, siis autostoppseadis peatab automaatselt rongi. Automaatne veduri telesignalisatsiooni süsteem väldib rongi juhuslikku sõitmist keelatud tsooni ning võimaldab suurendada rongide liiklussagedust ja -kiirust.

Põhimõtteliselt on raudtee valgusfooride signaalide ülekanne vedurile võimalik elektromagnetilise induktsiooni, valguskiirte, raadioside jms. teel. Seejuures eristatakse kahte tüüpi automaatset veduri telesignalisatsiooni: katkelist ja pidevat. Katkelises süsteemis toimub signaalide ülekanne veduri valgusfoorile ainult üksikutes punktides raudtee iga valgusfoori ees. Täiuslikum on pidevatoimeline signalisatsioonisüsteem, kus kogu aeg antakse signaale raudteelt vedurile. Selleks lahutatakse kogu raudteeliin üksikuteks elektriliselt isoleeritud piirkondadeks (nn. blokklõikudeks). Iga blokklõigu lõpus on raudtee valgusfoor, mille signaalid antakse kogu lõigu ulatuses üle vedurile. Signaalide ülekanne toimub seejuures rööbastee kaudu erikoodidega. Koodid dešifreeritakse veduril. Veduri üleminekul ühest blokklõigust teise hakkab see kohe vastu võtma järgmise blokklõigu koodsignaale, millele vedur läheneb.

Rongi üleminekul rohelise signaali tsoonist kollase signaali tsooni tekitatakse veduril automaatne helisignaal. Kui 5—7 sekundi jooksul vedurijuht ei vajuta «valvsushoovale», peatab automaatseadis rongi.

Joonisel 3-16 on kujutatud ühe blokklõigu põhimõtteskeem koos raudtee ja veduri telesignalisatsiooni seadistega.

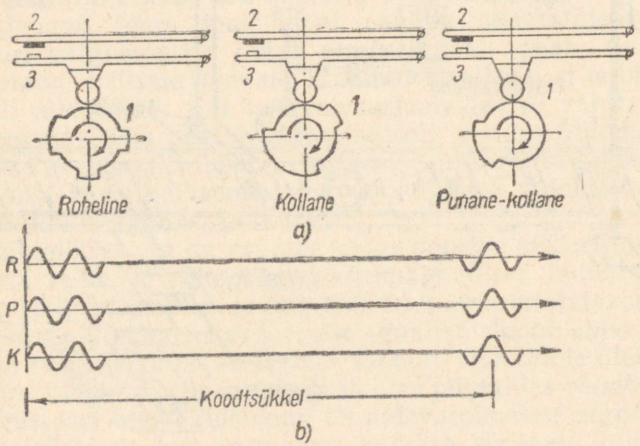
Rööbastee ahela kaudu tekitatavad koodiimpulsid on tegelikult vahelduvvoolu impulsid, kus näiteks rohelisele signaalile vastab kolm lühikese intervalliga järgnevat impulssi. Sellisele tsüklile järgneb pikem vaheaeg, mille



Joon. 3-16. Raudtee ja veduri telesignalisatsioonisüsteem blokk-lõigu ulatuses

järel koodtsükkel kordub. Kollasele signaalile vastab kaheimpulsiline koodtsükkel, signaalile punane-kollane üks impulss ning punase valguse puhul on signaaliks pidev vahelduvvool. Nimetatud koodsignaalide saamiseks kasutatakse erilist transmitterit, mis formeerib vahelduvvoolust vajalikke impulsside kombinatsioone. Transmitter koosneb mootori abil pöörlema pandavatest profiilketastest, mis sulevad ja avavad kontakte (joon. 3-17). Profiilketastel *1* on mitmesuguseid nukkide ja süvendite kombinatsioone, mille tõttu kontaktid *3* suletakse ja avatakse kindlas järjestuses, ühendades või lahutades koodtrafo primaarmähise ahela. Kõik profiilkettad paiknevad ühisel võllil, mida mootor hakkab automaatselt pöörama siis, kui rong saabub antud blokklõigu piirkonda. Sõltuvalt sellest, milline valgussignaal põleb vastava lõigu valgusfooris, lülitatakse vastav kontakt rea juhtreleede abil koodtrafo

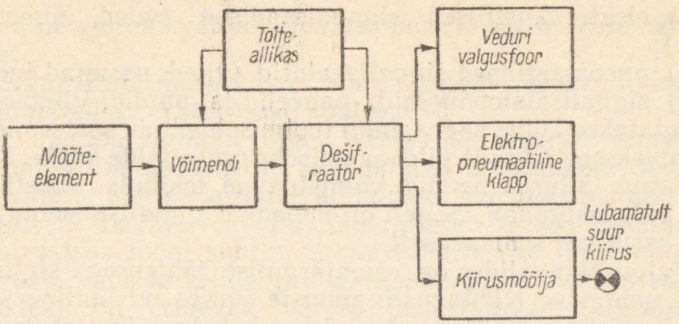
primaarmähise ahelasse (joon. 3-16). Trafo sekundaarmähis on ühendatud rööbasteega, mida kontakti sulgemisel läbib vahelduvvoolu impulss, tekitades rööbastee läheduses märgatava vahelduva magnetvälja. Mõõteelemendina on veduril kaks induktiivpooli, mis kinnitatakse veduri alla umbes 150 mm kõrgusele rööbasteest. Mõlemad poolid on ühendatud järjestikku ja neis tekib magnetvälja toimel



Joon. 3-17. Transmitteri koodseadise skeem

elektromotoorjõud suurusega umbes 0,2 V (võimsusega ca 7,5 μW), mis muutub kooskõlas koodsignaaliga. Et selline signaal on relee rakendamiseks liiga nõrk, siis seda kõigepealt võimendatakse ja alles pärast võimendamist kasutatakse impulssrelee sisselülitamiseks, mille kontaktid sulguvad ja avanevad kooskõlas signaali koodiga. Mõõteelemendist saadav signaal dešifreeritakse dešifraatoris, mis koosneb loendur- ja signaalreleedest. Loendurrelee abil määratakse impulsside arv ja kestus. Sõltuvalt koodi iseloomust tagavad signaalreleed edaspidi veduri valgusfooris vastava signaaltule süttimise, kuid ühtlasi (teatava viitega) lülitavad elektropneumaatilise klapi EPK kaudu töösse rongi pidurdussüsteemi.

Lisaks raudtee valgusfooride signaalide automaatsele ülekandele on käesoleval ajal kasutusel ka sellised süsteemid, millega täiendavalt kontrollitakse rongi liikumiskii-



Joon. 3-18. Rongi liikumiskiiruse (kontrollivõimalusega) telesignalisatsioonisüsteemi blokkskeem

rust. Sellised süsteemid võimaldavad avastada lubamatult suuri rongide liikumiskiirusi. Teatavasti on rongiliikluse tehniliste eeskirjadega määratud igale valgusfoori signaali tsoonile vastavad maksimaalsed kiirused.

Taolise süsteemi blokkskeem on toodud joonisel 3-18 ning see erineb eespool vaadeldust vaid täiendava elemendi, kiirusmõõtja poolest. Kiiruse lubamatul ületamisel lülitab dešifraator sisse sinise signaallambi ning hoiatava helisignaali. Kui nelja sekundi jooksul vedurijuht ei alusta pidurdamist, peatatakse vedur automaatselt. Kui aga vedurijuht alustab kohe pidurdamist, kaob helisignaal, kuid signaallamp jääb süttinuks seni, kuni kiirus on langenud lubatud piirini.

5. Signalisatsioonisüsteemide täiturelemendid

Signalisatsioonisüsteemide spetsiifilisteks ja vastutusrikasteks elementideks on täiturelemendid, mida kasutatakse inimesele signaalide teatavaks tegemisel. Täiturelementidena on kasutusel:

1) mehaanilised signalisaatorid (signaalklapid, -vardad jne.);

2) elektrilised valgussignalisaatorid (hõõglambid, huumlambid, elektroluminestsentsseadised, valgustid, prožektorid, valgusfoorid jne.);

3) elektromehaanilised signaalseadised (signaalreleed, blinkerid jne.);

4) elektroakustilised signaalseadised (viled, sireenid jne.);

5) pneumaatilised signalisaatorid (viled, pasunad jne.);

6) signalisatsioonikilbid, -paneelid ja -puldid. Viimaseid kasutatakse kõige sagedamini tootmisobjektide süsteemides komplekssе (seotud) pildi saamiseks protsesside kohta. Kirjeldatud täiturelemendid võimaldavad tekitada akustilist või valgussignaali. Sageli on mõlemad signalisatsioonivii-sid kasutusel samaaegselt.

Valgussignaalides on esmajärgulise tähtsusega signaalide nähtavus. Nähtavustingimuste juures on oluline signaali märkamine, selle värvi, kuju, heleduse jm. tajumine. Signalisatsiooniseadiste ratsionaalse konstruktsiooni aluseks peavad olema inimsilma valgustaju omadused ja iseärasused. Kui inimene hakkab suurelt kauguselt lähenema signaaliallikale, siis esialgu ei taju silm värvi, vaid tekib heledusaisting. Värvitaju tekib vaid siis, kui heledusnivoo ületab teatava minimaalläve. Peale selle on vajalik fooni ja signaaliallika erinev toon (kontrast). Need asjaolud peavadki olema signalisatsioonielementide konstrueerimise aluseks. Minimaalset heledust, mis kutsub esile valgusaistingu silmas, nimetatakse valgusläveks, mille juures aga silm suudab eristada värve — värvusläveks. Erinevate värvide suhtes on silma lävitundlikkus erinev. Mõningad iseloomulikud arvsuurused on toodud tabelis 1.

Tabel 1

Valguse värvus	Värvuslävi mikroluksides	
	õõsel	päeval
Punane	0,8	600
Kollane	2,0	1200
Roheline	1,2	900
Sinine	1,0	800
Kollakasvalge	3,0	2000

Olulise tähtsusega on see, et punase valguse korral valguslävi ja värvuslävi praktiliselt ühtivad, s. o. punasele signaaltulele lähenemisel suudab inimene selle otsekohe ära tunda. Selle omaduse, samuti küllalt väikese lävivääртuse tõttu kasutataksegi punast signaaltuld keelava signaalina. Tähtis on ka veel see, et suitsune, tolmune jne. kesk-

kond nõrgendab vähimal määral punase signaaltule nähtavust.

Signaaltule märgatavus sõltub suurel määral fooni ja signaaliallika erinevusest, kontrastist.

Et tagada signaali õiget nähtavust, peavad erinevad signaalid olema kergesti ja kindlasti eristatavad. Selleks on vajalik signaaliallikate küllaldane heledus, mis märgatavalt ületaks läviväärtuse, samuti tuleb tagada küllaldane kontrastsus fooni suhtes. Silma tundlikkuse järgi mitmesuguste värvide tajule (nii päevastes kui ka öistes tingimustes) on erinevad värvid järjestatavad järgmiselt: punane, sinine, roheline, kollane, kollakasvalge (vt. tabel 1).

Selle tõttu on ka arusaadav, miks praktikas on välja kujunenud kolme põhilise signaalvärvina punane, kollane ja roheline. Need värvid on kergesti eristatavad ja tagavad kõrge aistingutundlikkuse. Seejuures juba varem nimetatud põhjuste tõttu kasutatakse avarii-, keelu- või kriitilise režiimi signaalina just punast värvi. Järgmine kõige sagedamini kasutatav värv on roheline. Kolmevärvilises signaalsüsteemis kasutatakse veel reeglina kollast värvi. Nii näiteks on liiklusvalgusfoorid nii raudteetranspordis kui ka tänavail varustatud nimetatud värvidega. Kasutatakse siiski ka sinist värvi. See tagab küllaldase tundlikkuse, kuid siniste valgusfiltrite väike läbipaistvus (neelavad suure osa valgusenergiast) nõuab sel puhul väga võimsate valgusallikate kasutamist, eriti signaaliallika suure kauguse korral.

Kollakasvalge valgus on värvilt kõige ebamäärasem. Seepärast kasutatakse seda vaid vähevastutusrikastes signalisatsiooniseadmetes, kõige sagedamini kõrvaliste ja abisignalisaatorite juures.

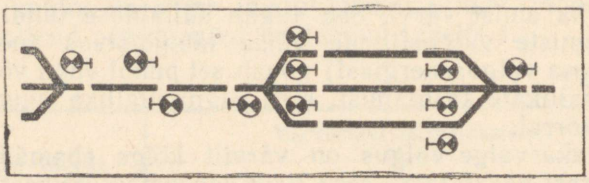
Teiseks tähtsamaks signaaliks on helisignaal, mida saadakse vilede, pasunate, kõlistite, sireenide, summerite jm. abil või teatud tooniga signaali näol operaatori telefonis. Helisignaal peab alati ületama tootmismüra. Tuleb arvestada ka seda, et inimkõrva maksimaalne tundlikkus on helisageduse vahemikus 1000—4000 Hz.

Automaatsignalisatsiooni süsteemide projekteerimisel on vajalik silmas pidada veel seda, et nii valgus- kui ka helisignaalid ei tohi inimese juures põhjustada väsimust, samuti traumasid (pimestav valgus või kõrva valutundlikkuse läve ületav helitugevus).

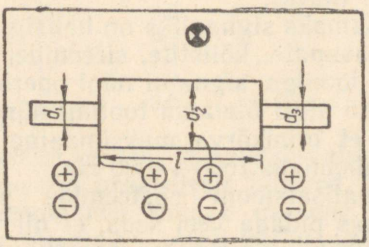
Lihtsamatel juhtudel võimaldavad kirjeldatud signalisatsioonielemendid saada signaale kontrollitava objekti kahe seisundi kohta (näit. mootor sisse või välja lülitatud, ventiil suletud või avatud jne.). Seepärast kasutatakse selliseid signaalelemente kõige sagedamini kontrollitavate suuruste kriitilistest väärtustest teadustamiseks.

Rakendades mitte ühe, vaid terve rea kõige lihtsamaid signalisaatoreid, võib luua keerulisi signaalseadeldisi. Taolise signaalseadise näiteks võiks olla metroos kasutatav rongidevahelist ajaintervalli signaliseeriv kell. Kell on kastikujuline, mille esiplaadile on kantud läbipaistvad numbrid (5, 10, 15, 20 jne.). Iga numbri alla on paigutatud signaallamp. Rongi väljumisel metroojaamast lülitub automaatselt töösse aja mõõteseadis ning iga viie sekundi järel hakkab järjekordne number esiplaadil helendama. Pärast minuti möödumist süttib eriline, minuteid tähistav number (1 min.), sekundeid märkivad numbrid kustuvad korraga ja hakkavad siis jälle järjekorras põlema.

Lihtsaimate signalisaatorite baasil on loodavad ka multikontrolli süsteemid paljude parameetrite üheaegseks kontrollimiseks. Sel juhul tehakse täiturelemendid mnemoskeemidega (kilpidel või pultidel), mis lihtsustatult kuju-



a)



b)

Joon. 3-19. Signalisatsioonisüsteemide täiturelemendid

tavad kontrollitava protsessi üksiksõlmede vahelisi sidestusi.

Joonisel 3-19, *a* on toodud signalisatsioonikilbi osa teatava raudteelõigu mnemoskeemiga. Sellelt võib saada ülevaate pöörangute asendite, üksikute rööbasteede vaba- või kinnioleku kohta, samuti rööbastee valgusfooride signaalide kohta. Kogu signalisatsioon töötab mnemoskeemis olevate signaallampide süütamisega.

Joonisel 3-19, *b* on näidatud signalisatsioonipaneel, mis võimaldab kontrollida võlli töötlemist. Iga mnemoskeemi tingmärgi juures asetseb vastav signaallamp (õigemini kaks). Kui kontrollitav mõõt on vajalikust suurem, siis süttib ülemine lamp, vastasel korral alumine. Kõigi mõõtude jäämisel lubatavaisse piiresse on hälbeid märkivad signaallambid kustunud ja süttib ülemine signaallamp, mis signaliseerib detaili vastavust nõuetele. Taoline süsteem võimaldab signaliseerida rea kontrollmõõtmiste tulemusi ühekorraga.

IV peatükk

Automaatsed sorteerimis- ja mõõteseadmed

1. Üldised omadused

Tööstuslike protsesside automaatkontrolli süsteemides esineb sorteerimis- ja eriti mõõteseadmeid kõige sagedamini. Võimaldab ju mõõtmine saada täielikku kvantitatiivset pilti meid huvitava ühe või teise tehnoloogilise parameetri kohta. Kaasaegsed automaatmõõteseadmed koostatakse enamasti kahest omaette konstruktiivsest blokist, millest ühe moodustab andur, teise aga mõõteseade (sekundaarmõõteriist). Automaatsorteerimise süsteemides lisanduvad neile veel ulatuslikud täiturelemendid sorteerimise tegelikuks läbiviimiseks.

Üheks kõige olulisemaks ja vastutusrikkamaks sõlmeks automaatmõõteseadmeis on andur. Selle ülesandeks on kontrollitava suuruse muutumisega kooskõlalise kontrollsignaali tekitamine ehk teisiti, kontrollitava suuruse muundamine sobivaks kontrollsignaaliks. Anduritelt saadavad kontrollsignaalid on tavaliselt mehaanilise, pneumaatilise või elektrilise iseloomuga. Kaasajal kasutatakse rohkem elektrilise väljundisignaaliga andureid. Viimased jagunevad kahte põhiliiki. Esimesed, nn. generaatorandurid kujutavad endast kontrollitavast füüsikalisest suurusest sõltuvaid elektrienergia allikaid, nagu näiteks termopaarid, ventiilfotoelemendid, piesoelemendid jne. Teine põhiliik on nn. parameetrilised andurid, mis elektrilistelt omadustelt vastavad takistusele (või induktiivsusele ja mahtuvusele), mille suurus sõltub kontrollitavast füüsikalisest suurusest. Parameetriliste andurite näidetena võib nimetada termotakisteid, fototakisteid, tensotakisteid jt.

Levinud on ka paljukordse muundusega andurid. Nii näiteks koosneb tüüpiline rõhuandur elastsest membraa-

nist, millega rõhu muutused muundatakse membraani niheteks. Viimased omakorda muundatakse kas induktiivse või mahtuvusliku anduri abil elektrisignaalideks.

Kaasaegseis automaatkontrolli süsteemides vajalike andurite liikide arv on väga suur. Ühest küljest on iga füüsikalise suuruse jaoks vajalik eriliiki andur. Teisest küljest aga on ka sama suuruse jaoks tihti vaja mitu erinevat anduri liiki. Nii näiteks sobib termotakisti madalate temperatuuride automaatkontrollimiseks, termopaar aga keskmiste puhul. Kõrgete temperatuuride korral tuleb kasutada püromeetrilisi termoandureid. Selle tõttu ulatub praktikas kasutatavate andurite liikide arv sadadesse, rääkimata konstruktiivsetest modifikatsioonidest. Seejuures põhineb iga anduri töötamine teataval füüsikalisel nähtusel või seadusel, tihti vägagi keerukal. Nii kasutatakse näiteks nn. värvuspüromeetrilisi termoandureid, mille töö põhineb kõrget temperatuuri omavate kehade valguskiirguse erinevusel punase ja sinise valguse osas (aluseks on füüsikast tuntud nn. Wieni nihkeseadus).

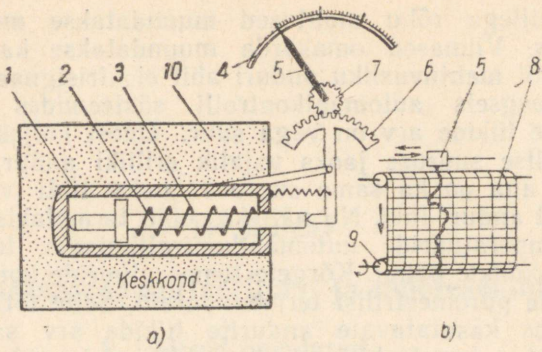
On selge, et andurite mitmesuguste omaduste lähem käsitlus pole piiratud raamatu mahus mõeldav, mistõttu käesolevas brošüüris andurite tüüpe ja karakteristikuid lähemalt üldse ei vaadelda.[1] Mõõte- ja sorteerimissüsteemide tööprintsiipidest ülevaate saamiseks vaadeldakse järgnevalt mõningate lihtsamate lokaalse ja distantskontrolli süsteemide näiteid.

2. Lokaalse kontrolli süsteemid

Lokaalse kontrolli seadmed võimaldavad tootmisprotsesse jälgida vahenditult aparatuuri ülesseadmise paigas. Nad on enamasti väga lihtsad ja praktikas küllaltki levinud. Järgnevalt vaadeldakse mõningaid tööstuses kasutatavaid lokaalse kontrolli süsteeme.

Joonisel 4-1, *a* on kujutatud dilatomeetrilise termomeetri skeem. Anduriks on siin metalltoru *1* ja varras *2*. Toru valmistatakse suure paisumisteguriga materjalist. Varras tehakse materjalist, mille mõõtmed temperatuurist peaaegu üldse ei sõltu. Enamasti on toru valmista-

[1] Lähemal ajal ilmub eestikeelne raamat anduritest, kus käsitletakse enamkasutatavaid andurite liike. *Toim.*

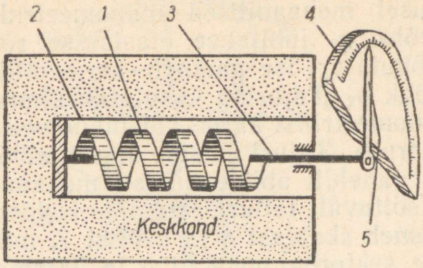


Joon. 4-1. Dilatomeetrilíne termomeeter

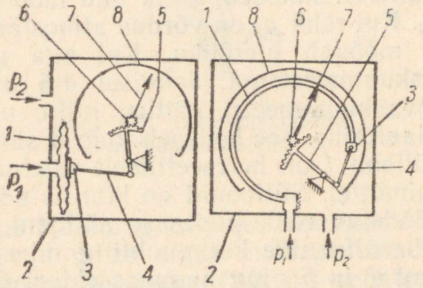
tud alumiiniumist, mille joonpaisumistegur on $23 \cdot 10^{-6}$ $\frac{1}{\text{deg}}$, varras aga niklisulamist — invarist — joonpaisumisteguriga $1 \cdot 10^{-6}$ $\frac{1}{\text{deg}}$. Mida suurem on toru joonpaisumistegur, seda tundlikum termomeeter saadakse. Et tagada ühtlast ja kindlat varda ja toru põhja kontakti, kasutatakse spiraalvedru *3*. Muutuva temperatuuri tingimustes tekib dünaamiline viga, mida põhjustab sisemise varda aeglasem kuumenemine (või jahtumine), võrreldes ümbritseva toruga. Viga puudub vaid siis, kui varda joonpaisumistegur on null. Sõltuvalt mõõtetulemuse fikseerimise viisist varustatakse mõõtesüsteem osutiga või registreerimisseadisega. Joonisel on näidatud indikaatorsõlm, mis koosneb liikumatust skaalast *4* ja liikuvast osutist *5*. Et varda ja toru suhteline nihe on väike, siis osuti tundlikkuse suurendamiseks kasutatakse hammassektorit *6* koos hammasrattaga *7*. Selline muundussõlm ühtlasi muudab varda lineaarnihke osuti pöördumiseks. Tulemuste registreerimiseks tuleks süsteemi täiendada joonisel 4-1, *b* näidatud lindi ja selle veomehhanismiga.

Laialdaselt kasutatakse lokaalse kontrolli süsteemides temperatuuri mõõtmiseks bimetall-termomeetreid (joon. 4-2). Mõõteelemendiks on siin bimetallspiraal *1*, mille üks ots on jäigalt kinnitatud korpuse *2* külge, teise otsaga aga ühendatakse osuti *3*.

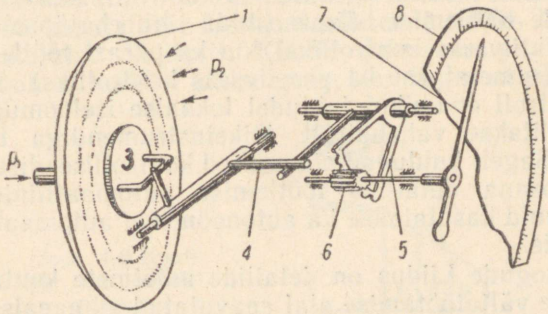
Rõhu lokaalseks automaatkontrolliks on kõige sageda-



Joon. 4-2. Bimetalltermomeeter



Joon. 4-3. Mehaaniline manomeeter



Joon. 4-4. Ruumilise ülekandemehhanismiga mehaaniline manomeeter

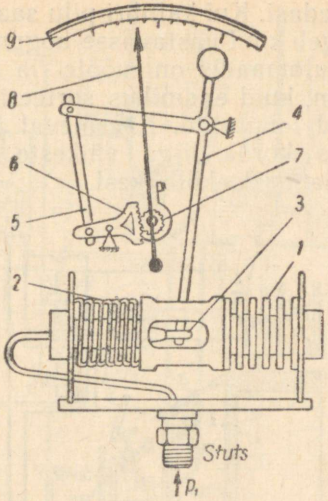
mini kasutusel mehaanilised manomeetrid (joon. 4-3). Mõõdetav rõhk p_1 juhitakse elastsesse rõhutajurisse *1*, kusjuures rõhutajur ise paikneb hermeetilises korpuses, milles on rõhk p_2. Tajurina kasutatakse enamasti kasgofreeritud manomeetrilisi karpe või manomeetrilisi vedrusid (Bourdon' torud). Tajuri elastse otsa *3* nihe muundatakse mehaanilise vahelüli abil enamasti mehaaniliseks pöördliikumiseks sõltuvalt täiturelementide iseloomust. Indikaatorsõlm koosneb skaalast *8* ja osutist *7*, millele liikumine kantakse üle sektorhammaslati *5* ja hammasratta *6* abil.

Mehaaniliste manomeetrite gabariitide vähendamiseks paigutatakse tajuri ja indikaatorsõlme tsentrid tavaliselt kohakuti. Sel juhul tuleb liikumise ülekandeks kasutada ruumilist mehhanismi (joon. 4-4). Kirjeldatud tüüpi manomeetrid on diferentsiaalsed, kuna nad mõõdavad rõhkude vahet $p_1—p_2$. Kui rõhk p_2 on võrdne atmosfäärirõhuga, siis manomeeter mõõdab ülerõhku. Kui aga $p_1<p_2$, siis on tegemist vaakuummeetriga. Joonisel 4-5 on toodud ühe sellise manovaakuummeetri ehitus, mille põhielemendiks on diferentsiaaltajur. See koosneb kahest sülfoonist *1* ja *2*, kusjuures sülfoon *1* on hermeetiliselt suletud, s. o. töötab aneroidi põhimõttel. Sülfoonid on kinnitatud ühisele alusplaadile. Mõõdetav rõhk juhitakse sülfooni *2*, mille tulemusena tekib sülfoonide keskpunkti *3* nihe. See antakse kangisüsteemi *4* ja *5* ning hammassektori *6* ja hammasratta *7* kaudu osutile *8*.

Ehkki mehaanilistel manomeetritel on rida eeliseid, millest tähtsamateks on lihtsus ja töökindlus, pole need siiski alati kasutatavad, eriti näitude distantsülekande puhul.

Detailide mõõtmete automaatkontrolli kasutatakse nii detailide töötlemise käigus (mida tihti ebatäpselt nimetatakse aktiivseks kontrolliks) kui ka pärast töötlemistsükli lõppu (nimetatakse ka passiivseks kontrolliks). Seejuures on kontroll enamikul juhtudel lokaalse iseloomuga, kuna kontrollitakse vahenditult lõikeinstrumendiga töödeldud kohas. Sageli kuuluvad niisugused kontrolliseadised orgaanilise osana detailide töötlemise automaatliinide koosseisu, kuid kasutatakse ka autonoomseid automaatkontrolli aparaate.

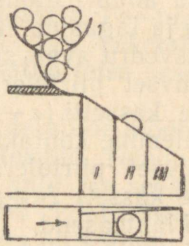
Nõukogude Liidus on detailide mõõtmete kontrolliautomaatide väljatöötamise alal saavutatud silmapaistvat edu. Paljudes tehastes võib leida sadu automaate detailide kontrollimiseks nende töötlemise käigus. Nii on näiteks Esi-



Joon. 4-5. Diferentsiaal-manovaakuummeeter

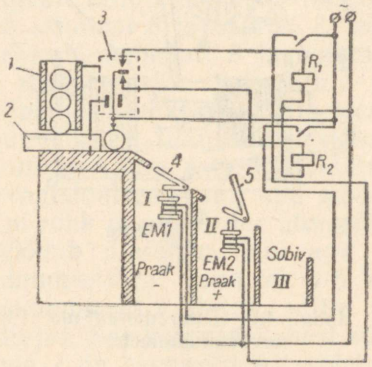
meses Riiklikus Kuullaagritehases kasutusel üle 800 kontrolliautomaadi ja mitte ainult mehaanikatsehhides, vaid ka ettevalmistusosakondades (näiteks sepatsehhis laagrirõngaste kontrollimiseks) ja montaažitsehhides (näiteks rõngaste ovaalsuse ja radiaalpilu automaatkontrollimiseks).

Joonisel 4-6 on toodud kuulide diameetri pidevatoimelise kontrolliautomaadi põhimõtteskeem, milles sorteerimiselemendina kasutatakse horisontaalasendi suhtes kallutatud kiilukujulist kaliibrit. Kuulid juhitakse punkrist *1* pideva vooluna kaliibri juhtsoonele. Nad liiguvad piki seda



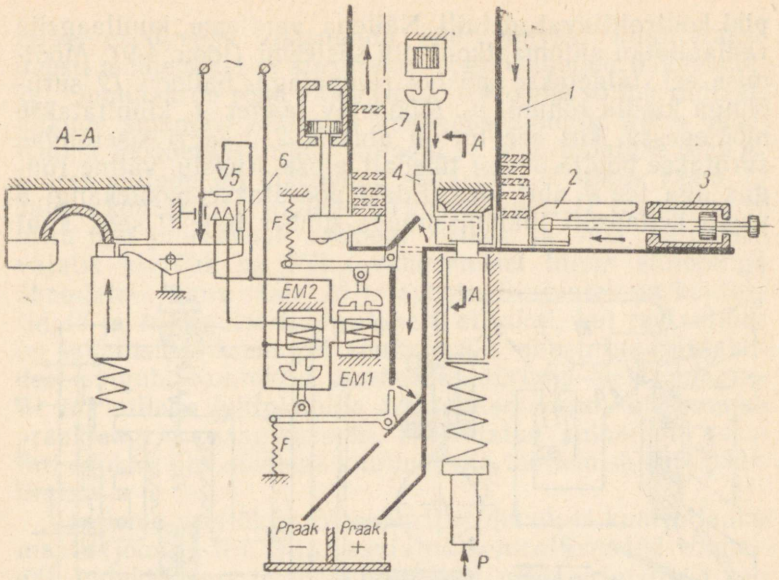
Joon. 4-6. Kuulide sorteerimisautomaat

omakaalu mõjul edasi. Kui kaliibri pilu saab võrdseks kuuli diameetriga, langeb kuul vastavasse kogumiskassetti (I, II ja III). Antud automaadis on mõõte- ja täiturelemendiks üks ja sama sõlm, kuid enamikus sorteerimisseadmeis on need funktsioonid lahutatud. Käesoleval juhul korratakse sorteerimist kaks korda liiga väikeste (praak-)kuulide kindlamaks eraldamiseks kõlblikest.



Joon. 4-7. Elektriline sorteerimisautomaat

Joonisel 4-7 on kujutatud täiuslikuma kuulide sorteerimisautomaadi elektrokinemaatiline skeem, kus mõõte- ja sorteerimisfunktsioonid on eraldatud. Kontrollitav kuul saabub toru *1* kaudu lähtepositsioonile tõukuri *2* ette, millega ta tõugatakse mõõtesõlme. Mõõteorganina kasutatakse antud juhul elektrokontaktandurit *3*. Anduri avatud kontaktide korral releed R_1 ja R_2 on toiteta ning elektromagnetite *EM1* ja *EM2* ahelad on suletud. Selle tulemusena elektromagnetid sulevad praagikassettide avad. Kui mõõtmisprotsessis anduri alumine kontakt sulgub, siis rakendub relee R_2 ja tagastub elektromagnet *EM1*. Elektromagneti tagastusvedru avab siibri *4* ning kontrollitav kuulike satub negatiivset piirtolerantsi ületavate parandamatute praakkuulide kassetti («−praak»). Kui aga mõõtmiprotsessis sulgub ülemine kontakt, siis tagastub relee R_1 ja avatakse positiivset piirtolerantsi ületavate, parandatavate praakkuulide kassett («+praak»). Pärast mõõtmist taastub süsteemi lähteasend.

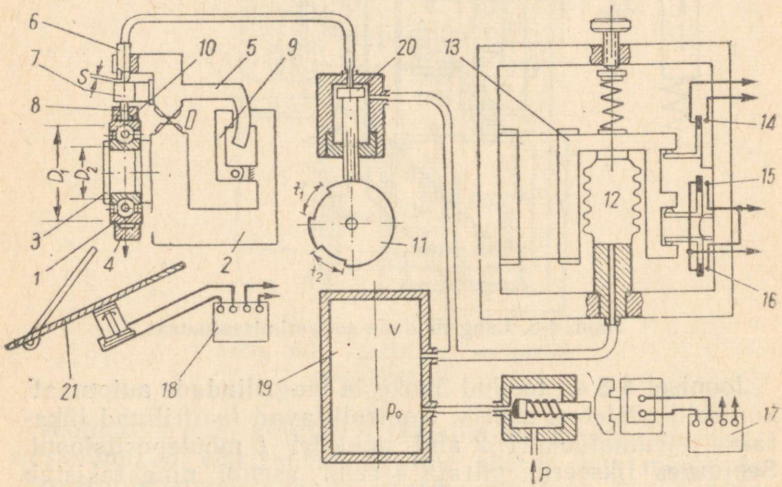


Joon. 4-8. Laagriliudade sorteerimisautomaat

Joonisel 4-8 on toodud õhukeste laagriliudade automaatkontrolli süsteemi skeem. Kontrollitavad laagriliuad lükatakse pneumotõukuri *2* abil punktist *1* mõõtepositsiooni. Seejuures fikseerib piiraja *4* seibi asendi ning takistab selle edasiliikumist. Kontrollitav paksusmõõt määratakse elektronkontaktanduriga *5* ning on jälgitav mehaanilise indikaatoriga *6*. Edasi suunatakse mõõdetud laagriliuad kas kõlblike detailide punkrisse *7* või ühte praakdetailide kassetti. Kui kontaktanduri alumise kontakti sulgemine viitab alumise piirtolerantsi ületamisele, rakenduvad mõlemad elektromagnetid *EM1* ja *EM2* ning kontrollitud laagriliuad satuvad ühte praagikassetti («—praak»). Ülemise anduri kontakti sulgumisel aga rakendub elektromagnet *EM1* üksinda ning seib satub teise praagikassetti («+praak»).

Üsna laialdaselt on levinud ka detailide mõõtmete pneumaatilised automaatkontrolli süsteemid. Nende töötamine põhineb düüsist väljuva suruõhu kulu (ja seega ka rõhulangu) funktsionaalsel sõltuvusel kontrollitava detaili mõõtmetest. Düüsist väljuv õhujuga on seejuures suunatud

piki kontrollitavat detaili. Näitena vaatleme kuullaagrite radiaallõtku automaatkontrolli süsteemi (joon. 4-9). Mõõtmise eel täidetakse püsiva ruumalaga balloon *19* surugõhuga kindla rõhuni p_0. Mõõdetav laager *1* kinnitatakse mõõtepessa, kus see toetub alusele *2*. Laagri siserõngas surutakse hoidja *3* abil tihedalt aluse *2* vastu, väline rõngas aga toe *4* abil üles. Edasi pööratakse mõõtekangi *5* vastu kellaosuti liikumissuunda ümber telje *0* seni, kuni

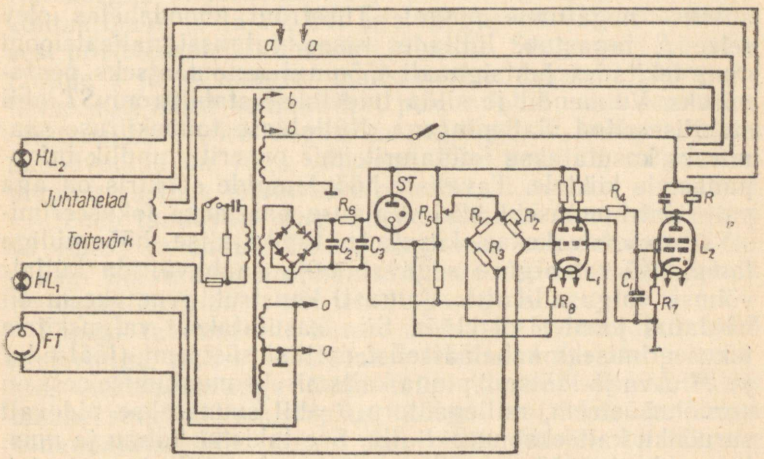


Joon. 4-9. Kuullaagrite radiaallõtku automaatkontrolli seade

düüsi *6* ava suletakse mõõtevarda *8* klapiga *7*. Mõõtevarras on mõõtekangiga ühendatud lamevedrude abil. Kirjeldatud mõõtekangi *5* positsioon säilitatakse fiksaatoriga *9*. Pärast seda lastakse tugi *4* alla, vabastades laagri välisrõnga, ning see surutakse nüüd toe *10* abil omakorda alla. Seejuures mõõtevarras *8*, liikudes koos laagri välisrõngaga allapoole, vabastab düüsi *6* ava sedavõrd, et düüsi ja klapi *7* vahele tekib pilu *s*, mille suurus vastab laagri radiaallõtkule antud suunas. Pärast seda avatakse balloon *19* düüsiga *6* ühendava õhumagistraali klapp *20* ning lastakse õhul teatava aja kestel magistraali ja düüsi kaudu välja voolata. Klapi *20* avamiskestus on määratud nukkketaste *11* profiiliga. Edasi laager vabastatakse, pööra-

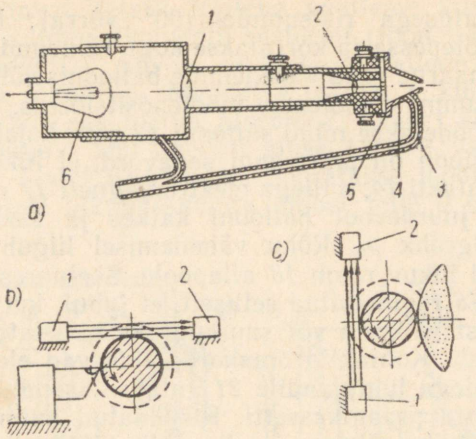
takse esialgsega ristsuunda (90° võrra), kinnitatakse uuesti mõõtepessa ja korratakse kogu eelnenud mõõtetsükkel. Summaarne rõhu vähenemine balloonis sõltub radiaallõtkude summast mõlemas mõõtepositsioonis. Rõhu vähenemist mõõdetakse nüüd sülfooni *12* abil. Esialgse rõhu p_0 juures sülfoon oli pikenenud sedavõrd, et liikuv raam *13* sulges kontakti *14*, millega elektromagneti *17* rakendumise tõttu õhu juurdevool ballooni katkes ja seal kujuneski vajalik algrõhk p_0. Rõhu vähenemisel liigub sülfooniga ühendatud liikuv raam *13* allapoole. Seejuures on kontaktid *15* ja *16* reguleeritud selliselt, et juhul, kui radiaallõtk on lubatust väiksem või suurem, üks nimetatud kontaktidest sulgub. Kontaktid omakorda tüürivad elektromagnetit *18*, millega juhtplaadile *21* antakse asend, mis suunab praaklaagrid praagikassetti. Kirjeldatud automaati kasutati edukalt ühe sõlmena kuullaagrite töötlemise automaatliinis.

Vaatleme veel ühte fotoelektrilist detailide kontrollautomaati (joon. 4-10). Siin kasutatud kontrollimeetod võimaldab induktiivsest ja mahtuvuslikust mõõteprintsiibist erinevalt antud seadet kasutada mistahes detaili materjalide korral. Süsteemi tajuriks on koos takistitega R_1, R_2, R_3 sildlülitusse ühendatud fototajur *FT*. Silla muudetava



Joon. 4-10. Fotoelektriline detailide mõõtmete kontrolliautomaat

TRÜ Raamatukogu

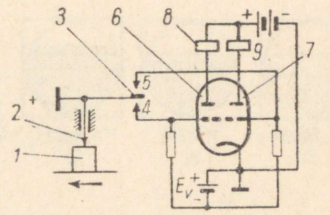


Joon. 4-11. Kontrolliautomaadi valgusti

takisti R_2 abil tasakaalustatakse see olemasoleva valgustuse tingimustes. Kui fototajuri valgustamine lakkab, s. o. kui valgustist HL_1 ei pääse valgus fototajurini, muutub selle takistus, rikutakse silla tasakaal ning selle väljundiklemmidel tekib pinge, mis antakse elektronvõimendile L_1. Võimendatud pinge suleb türatroni L_2 võreahela (sinna antakse negatiivne pinge). Türatroni anoodahelas olev relee R tagastub, lülitades sisse valgussignalisatsiooni ning tekitades juhtsignaali tööpingi automaatseks peatamiseks. Võimendit ja silda toidetakse stabilitroni ST abil stabiliseeritud alalispingega. Küllaldase toimekiiruse saamiseks kasutatakse fototajurit, mis on eriti tundlik infrapunastele kiirtele. Tavaliste hõõglampide spektris on aga palju infrapunaseid kiiri. Valguse paremaks fokuseerimiseks on otstarbekas kasutada täpikujulise hõõgniidiga lampi. Kõrvalvalguse segavat mõju saab vältida küllalt võimsa valgusallikaga. Valgusti konstruktiivne skeem on näidatud joonisel 4-11, *a*. Siin kasutatakse valguskiirte fokuseerimiseks kaheläätselist optilist süsteemi (läätsed *1* ja *2*). Ava ja läätse *2* pinna kaitsmiseks mustumise eest on suruõhusüsteem, millega toru *3* abil suunatakse pidevalt suruõhku kaitsekoonuse *4* alla. See takistab tolmu ja mustuseosakeste pääsu optilisse süsteemi. Ühtlasi soodustab suruõhk valgusallika *6* jahutamist.

Valgusti ja tajuri vastastikune paigutus võib kontrollisüsteemi rakendamisel olla väga mitmesugune. Joonisel 4-11, *b* on toodud üks võimalikest valgusti *1* ja tajuri *2* paigutusviisidest treipingis, kus see võimaldab kontrollida nii mingit detaili põiklõiget kui ka kogu pikkust. Joonisel 4-11, *c* on näidatud valgusti ja tajuri otstarbekas paigutus lihvpingis.

Joonisel 4-12 on toodud transportöörlindil liikuvate detailide kõrguse automaatkontrolli elektronautomaadi skeem praakdetailide avastamiseks.

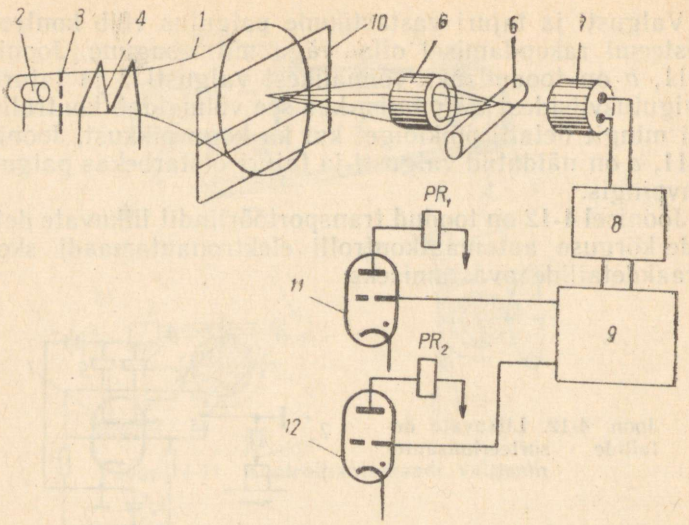


Joon. 4-12. Liikuvate detailide sorteerimisautomaat

Detail *1* liigub kombitsa *2* alt läbi. Mõõtepositsioonis kombits *2* toetub detaili otspinnale ning sõltuvalt tegelikust kõrgusest võtab kombitsaga ühendatud liikuv kontakt *3* kindla asendi liikumatute kontaktide *4* ja *5* vahel. Kui kõrgus ületab ülemise piirtolerantsi, sulgub ülemine kontaktipaar (*3* ja *5*), kui aga kõrgus on väiksem alumisest piirtolerantsist, ühendub alumine. Seega määrab kontaktide *4* ja *5* kaugus maksimaalse lubatava kõrguste hälbe. Kui ükski kontaktidest pole suletud, saab kummagi elektronlambi võre negatiivse eelpinge E_v ning lampide anoodvoolud on väga väikesed. Ühe kontakti sulgumisel muutub vastava lambi võre potentsiaal nulliks, anoodvool suureneb tunduvalt ning anoodahelasse ühendatud relee (*8* või *9*) rakendub. Releed omakorda rakendavad töösse praagi kõrvaldamismehhanismi, mis heidab praakdetaili transportöörilt ühele või teisele poole maha.

Lõpuks tutvume ühe uuema mõõtmete automaatkontrolli süsteemiga, milles kasutatakse televisiooniprintsiipi koostöös elektronarvutiga. Seda tüüpi kontrollisüsteemile on omane suur töötamistäpsus, kõrge tootlikkus ja kerge kohandatavus ühe detaili kontrollilt hoopis teistsuguse kuju ja mõõtmetega detaili kontrollile.

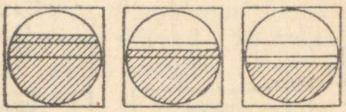
Joonisel 4-13 on toodud mõõtmete automaatkontrolli



Joon. 4-13. Televisiooniprintsiibiline mõõtmete automaatkontroll

süsteemi põhimõtteskeem, kus kasutatakse kineskoopi koos fototajuri ja elektronarvutiga. Kineskoop *1* koosneb elektronkahurist *2*, hälvitussüsteemist *4* ja fluorestseeruvast ekraanist. Elektronkahuriga *2* tekitatakse elektronkiir, mille intensiivsust on võimalik muuta tüürvõre *3* abil. Elektronkiir on fokuseeritud ekraanile. Elektronkiire hälvitamine toimub eriliste hälvituspoolide magnetväljaga, mis saadakse poolide toitmisel vahelduvvooluga. Antud juhul antakse elektronkiirele vertikaalne edasi-tagasi liikumine sagedusega 50 Hz, nihutades teda samal ajal horisontaalsuunas sagedusega 1 Hz. Elektronkiire kokkupuutekohas ekraaniga tekib sellel helendav täpp, mis optilise süsteemiga *5* projekteeritakse fototajurile *7*. Tajuri lähedal on täpi nihkumine 10 kuni 500 korda väiksem vastavast nihkest kineskoobi ekraanil. Kontrollitav detail *6* paigutatakse fototajuri lähedusse paralleelselt ekraaniga. Valgustäpi vertikaalsel liikumisel ülalt alla jääb see teataval osal teekonnast ülespoole detaili piirjoont ja valgustab fototajurit. Sattudes aga detaili kontuuri varju, kaob fototajuri valgustus ning fototajuri ahelas vool väheneb hüppeliselt. See muutus antakse impulssformaatori *8* kaudu

elektronloenduri *9* sisendisse. Faktiline mõõtmete kontroll toimub seejuures järgmiselt. Kineskoobi ekraani vastu paigutatakse läbipaistev plaat *10*, millele on kantud detaili kontrollitava mõõtme piirtolerantse kujutavad läbipaistmatud jooned. Oma vertikaalsel liikumisel katkeb elektronkiir igal tsüklil kaks korda ja tekitab seega kaks loendurisse antavat impulssi. Kui kontrollitav detail on kõlblik, s. o. tegelik kontuur jääb piirtolerantsi joonte piiresse, saadakse iga kiire liikumistsükli kohta kaks impulssi: üks tekib ülemise piirtolerantsi joone tõttu ja teine valguskiire katke-



Joon. 4-14. Detaili kontuuri kujutis ekraanil

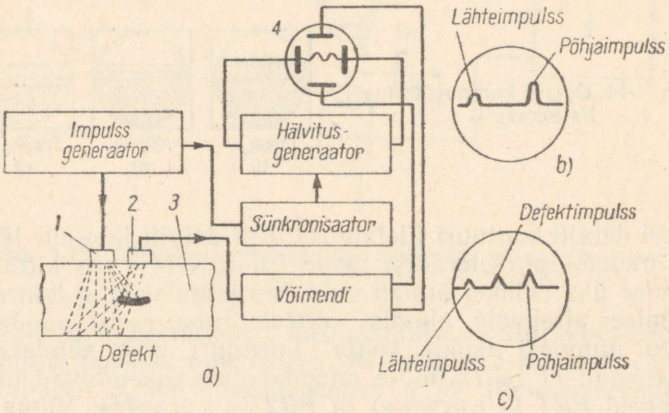
misel detaili kontuuri ületamisel. Kui detaili kontuur läheb üle ülemise piirtolerantsi joone (joon. 4-14), siis kiire liikumise üks tsükkel annab vaid ühe impulsi ning kontuuri jäämisel allapoole alumist piirtolerantsi joont saadakse kolm impulssi tsükli kohta. Loenduri abil süüdatakse türatronid *11* ja *12*, mille anoodahelais rakenduvad praagireleed *PR1* («+praak») ja *PR2* («−praak»). Viimased omakorda lülitavad töösse vastavad sorteerimissõlmed, millega praakdetailid kõrvaldatakse.

Viimasel ajal on hakatud tõsist tähelepanu pöörama ka materjalide ja valmisdetailide defektoskoopilistele automaatkontrolli süsteemidele. Kõigist kaasaegseist defektoskoopia meetoditest on enam levinud ultraheli-defektoskoopia, mis võimaldab lisaks detaili mehaaniliste defektide avastamisele (praod, tühikud, võõrkehad jne.) sageli kindlaks teha ka detaili täpsemat kuju ja mõõtmeid.

Ultraheli all mõistetakse elastset võnkumist ja laineid, mille sagedus ületab 16 kHz. Ultraheli levib hästi vedelikes, veel paremini aga metallides. Erinevate materjalide piirpindadel tekib helivõngete peegeldumine. See omadus võimaldabki ultraheli kasutamist materjalide sisemiste defektide avastamiseks, aga ka näiteks merepõhja reljeefi määramiseks jm.

Näiteks vaatleme ultraheli impulss-kajadefektoskoobi

tööpõhimõtet (joon. 4-15), mida kasutatakse detailisiseste defektide avastamiseks defekti pinnalt peegeldunud kajavõngete abil. Seade töötab raadiolokaatoriga samal põhimõttel. Impulssgeneraatori abil tekitatakse mõne mikrosekundilise kestusega ultraheli impulsid, mille vaheline intervall ulatub paari sajandiku sekundini. Impulsi tekitamise momendil rakendatakse tööle ka elektronostsillograafi hälvitusseade. Defektide puudumise korral detailis tekitatud ultrahelivõnked peegelduvad detaili *3* vastasküljelt ning saabuvad ultrahelitajurisse *2*. Tajurist saadav



Joon. 4-15. Ultraheli impulss-kajadefektoskoop

elektriimpulss suunatakse samuti ostsillograafi. Defektideta detaili korral võib ostsillograafi ekraanil täheldada vaid kaht impulssi: genereeritud impulssi ning põhilist peegeldusimpulssi (nn. põhjaimpulssi) (joon. 4-15, *b*). Kui aga detail sisaldab mittehomogeenseid piirkondi (defekte), siis saadakse ekraanil täiendavaid impulsse (joon. 4-15, *c*), mille põhjuseks on peegeldumised defektidelt. Impulsi paiknemise ja kuju alusel võib koguni hinnata defekti sügavust, kuju ja ulatust detailis. Ultraheli impulss ise saadakse elektriimpulsside toimel ultrahelimuundurist *1* (näiteks piesoelektriline muundur), mis tekitab kitsa, detaili pinnaga ristsuunalise ultrahelivoo. Uusimais konstruktsioonides on eraldi muundur (kiirgaja) ja tajur asendatud ühtse muunduriga, mis võimaldab nii heli tekitamist

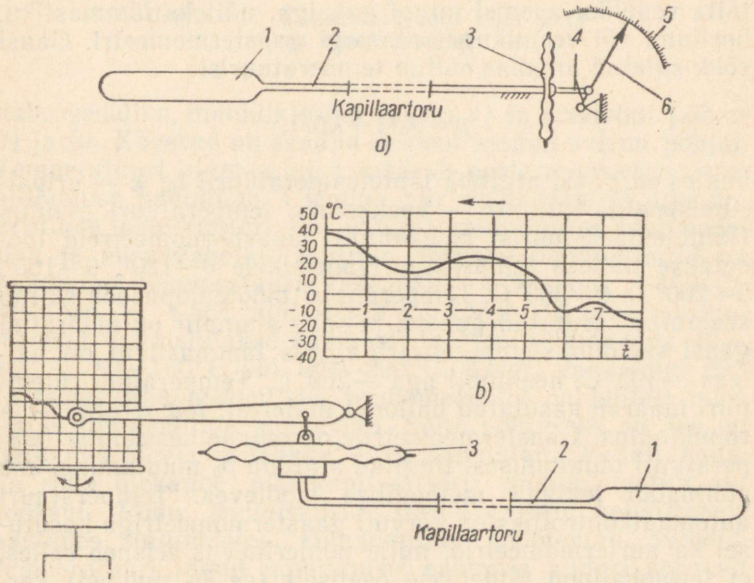
kui ka vastuvõttu ja mida analoogiliselt raadiolokaatori antenniga mõnesajahertsilise sagedusega automaatselt ümber lülitatakse. Sellise ultraheliotsiku liigutamisel piki detaili pinda võib «kombata» defekti kogu detaili ulatuses.

3. Distantskontrolli süsteemid

Distantskontrolli süsteemide erinevuseks eelmistest süsteemidest on see, et nende täiturelemendid paiknevad kontrollitavast objektist küllalt kaugel, praktikas siiski reeglina mitte üle ühe kilomeetri. Kontrollisüsteemi üksikud sõlmed ühendatakse sideliinidega, mis võivad olla mehaanilise, hüdraulilise, sagedamini aga pneumaatilise või elektrilise iseloomuga.

Järgnevalt vaadeldakse mõningaid tüüpilisi distantskontrolli süsteemide näiteid.

Mitmesuguste keskkondade temperatuuri automaatkontrolliks kasutatakse distantstoimega vedelik- ja gaastermo-



Joon. 4-16. Distantstermomeeter

meetreid. Nende mõõteelemendiks (joon. 4-16, *a*) on vedelikuga täidetud termoballoon *1*, täiturelemendiks aga aneroidkarp *3*. Mõõtetoime kantakse üle hüdraulilise sidekanali kaudu, milleks on kapillaartoru *2*. Keskkonna, kuhu termoballoon paigutatakse, temperatuuri tõusmisel vedeliku maht suureneb, mis kutsub esile aneroidkarbi deformatsiooni. Viimase keskkoha nihe kantakse üle osutile *6* või registreerivale elemendile (joon. 4-16, *b*).

Vedeliktermomeetriga kontrollitavate temperatuuride diapasoon sõltub üksnes kasutatud vedeliku omadustest: minimaaltemperatuuri määrab sulamistäpp, maksimaaltemperatuuri aga keemistäpp. Toluooli korral on sulamistäpp −95° ja keemistäpp +111° C, etüülpiiritusel aga vastavalt −112° ja +78° C jne. Termoballooniga temperatuuri kontrolli süsteeme rakendatakse mitmesugustes tehnilistes seadmetes kontrollitava keskkonna normaalrõhuga mitte üle 60 at $\left(6 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2}\right)$. Tavalisteks täpsusklassideks on seejuures 1,0 ja 1,5. Kapillaartoru pikkus ei ületa reeglina 3—5 m.

Kui termoballoon *1*, kapillaartoru *2* ja aneroidkarp *3* täita vedeliku asemel mingi gaasiga, näiteks lämmastiku, heeliumi või vesinikuga, saamegi gaastermomeetri. Gaasi rõhk suletud anumas sõltub temperatuurist:

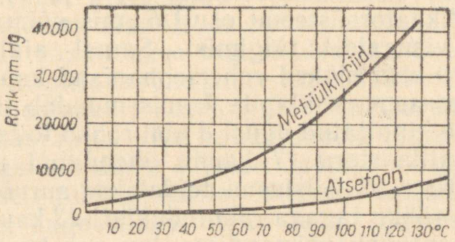
$$p = p_0(1 + \lambda \Delta t),$$

kus p_0 on gaasi algrõhk lähtetemperatuuril t_0; λ — eripaisumiskoefitsient; Δt — keskkonna temperatuuri muutus (lähtetemperatuurist t_0 loetuna). Gaastermomeetreid toodetakse näiteks temperatuurivahemikele 0—120°, 0—160°, 0—200° ja 0—300° C. Temperatuuri mõõtediapasoon sõltub seejuures kasutatud gaasist ja selle alampiir on määratud gaasi veeldumistemperatuuriga, mis lämmastikul on näiteks −195° C, heeliumil aga −269° C. Temperatuuri ülempiiri määrab kasutatud ballooni materjali temperatuuri- ja rõhukindlus. Gaastermomeetrile on omane keskkonna temperatuuri muutumisest tingitud algrõhu p_0 muutumine, mis põhjustab teatava metoodilise mõõtevea. Temperatuuri automaatkontrolliks on kõrvuti gaastermomeetriga kasutusel ka aurtermomeetrid, mille põhierinevus seisneb selles, et termoballoon täidetakse osaliselt (ca $^2/_3$ mahust) kergesti aurustuva vedelikuga. Keemistäpi läheduses tekib

ballooni vedelikuvabas osas küllastunud aur, mille rõhk temperatuuri tõusul muutub küllalt intensiivselt. See sõltuvus on mittelineaarne ning väljendatav ligikaudse empiirilise valemiga

$$\ln p = \alpha + \frac{\beta}{T} + \gamma \ln T,$$

kus p on küllastunud auru rõhk kontrollitaval temperatuuril; T_0 — absoluutne temperatuur; α, β ja γ — vedeliku omadustega määratud konstandid. Näitena on joonisel 4-17 toodud küllastatud auru rõhu sõltuvus temperatuurist

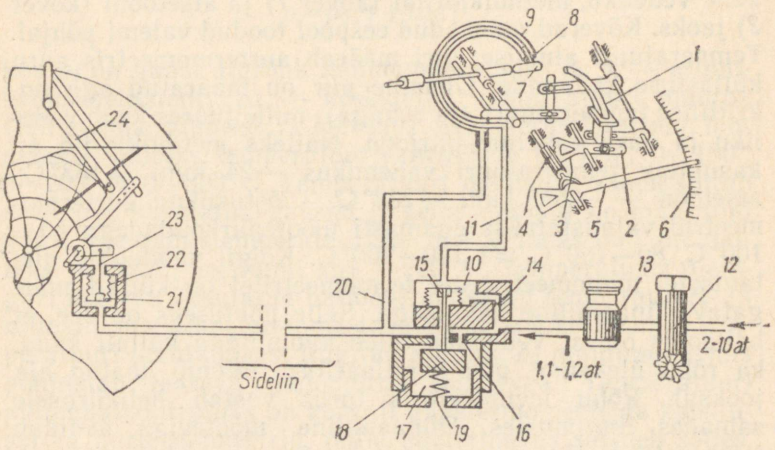


Joon. 4-17. Küllastatud auru rõhu sõltuvus temperatuurist

kahe vedeliku, metüülkloriidi (kõver *1*) ja atsetooni (kõver *2*) jaoks. Kõverad on saadud eespool toodud valemi põhjal. Temperatuuri alumise piiri määrab aurtermomeetris auru küllastuse kadumine. Ülemine piir on määratud aga nn. kriitilise temperatuuri (ja rõhuga), mille juures kaob vedeliku ja auru vaheline piirjoon. Näiteks metüülkloriid on kasutatav temperatuuri vahemikus −24 kuni +153° C; atsetoon — +56° kuni +232° C. Tööstuslikud aurtermomeetrid valmistatakse enamasti mõõtepiirkondadega 40—100° C, 80—160° C või 120—200° C. Kõigil vaadeldud distantsetel manomeetrilistel termomeetritel on küllalt märgatav dünaamiline mõõteviga. Selle põhjuseks on see, et balloonis olevat vedelikku tuleb kuumutada küllalt kaua, ka rõhu ülekanne piki kapillaartoru toimub teatud aja jooksul. Rõhu levimiskiirus torus vastab helikiirusele samades tingimustes. Dünaamiline mõõteviga avaldub temperatuuri järsul muutumisel esinevas anduri signaali ajalises hilistumises, mis aurtermomeetril võib ulatuda

mõnekümne sekundini. Vedelik- ja gaastermomeetril esinev hilistumine on mõnevõrra väiksem.

Viimasel ajal on muutunud populaarseks pneumaatilised distantskontrolli süsteemid, mida kasutatakse paljude soojusenergeetiliste ja muude füüsikaliste suuruste kontrolliks, nagu rõhk, rõhulang, vaakuum, nivoo jne. Kontrollitav suurus muundatakse pneumosignaaliks, mida on võimalik torustiku kaudu kuni 300 m kaugusele üle kanda. Näitena vaatleme rõhu pneumaatilist automaatkontrolli süsteemi (joon. 4-18). Selles muundatakse rõhu muutused Bourdon' toru *1* (joonisel näidatud vaba otsa) mehaaniliseks nihkeks. Ülekandemehhanism (*2*, *3* ja *4*) paneb liikuma ka indikaatorsüsteemi osuti *5*, mis võimaldab rõhu kohapealset visuaalset jälgimist. Samal ajal kantakse Bourdon' toru otsa nihked vahemehhanismi kaudu düüsi *8* ava läheduses asuvale klapile *7*, mis muudab torukujulise vedru *9* külge kinnitatud düüsi *8* abil rõhku toitetorustikus. Düüs on kapillaartoru *11* kaudu ühendatud pneumovõimendi kambriga *10*. Süsteemi toidetakse suruõhuga filtri *12* ja ühtlast rõhku tagava rõhureduktori *13* kaudu. Reduktorist läheb suruõhk võimendisse, kus see hargneb kahte ossa. Osa pääseb konstantse drosseldüüsi *14* kaudu kambrisse *10* ja sealt juba kirjeldatud viisil düüsini *8*. Suruõhuvoo põhiosa aga pääseb läbi düüsi *16* kambrisse *17*.



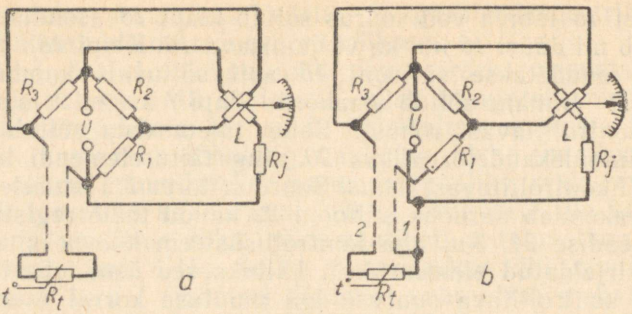
Joon. 4-18. Rõhu distantskontrolli süsteem

Düüsi *16* läbiva voo suurus sõltub klapi *18* asendist, mis katab nii düüsi *16* kui ka väljumisava *19*. Klapi *18* asendit aga muudetakse sülfooni *15* abil sõltuvalt kambri *10* rõhust. Viimane sõltub omakorda klapi *7* asendist ja seega ka kontrollitavast rõhust. Selle tulemusena sõltub rõhk distantsülekandetorustikus *20* ning täiturelemendi kambris *21* kontrollitavast rõhust Bourdon' torus *1*. Täiturelemendis rakendab suruõhk sülfooni *22* kaudu tööle registreerimisseadise *24*. Kui aga kontrollisüsteem koosneks ainult ülalkirjeldatud elementidest, käituks see üsna ebastabiilselt: kontrollitava suuruse iga muutuse korral esineksid täiturelemendis ulatuslikud võnkumised tasakaaluasendi ümber. Süsteemi stabiilsuse parandamiseks ja võnkumiste vältimiseks kasutatakse tagasisidestust. See töötab järgmiselt. Kontrollitava rõhu suurenemisel läheneb klapp *7* düüsile *8*, põhjustades torustikus *20* rõhu suurenemise. Samal ajal aga kasvab ka rõhk torukujulisele vedrule *9*, mis omakorda eemaldab düüsi *8* veidi klapist *7* — toimides seega vastupidiselt juhtsignaalile. Viimane tekitabki negatiivse tagasiside. Tagasisideprintsiip leiab mitmesugusel kujul kasutamist automaatkontrolli ja teistes täpsemates automaatikasüsteemides. Vaadelduga sarnaseid süsteeme kasutatakse ka temperatuuri automaatsel kontrollimisel. Sel puhul võib tajuriks olla termoballoon, mis kapillaartoru kaudu ühendatakse Bourdon' toruga *1*.

Hüdraulilised, pneumaatilised või mehaanilised distantskontrolli süsteemid tihti ei õigusta end tehnilises ega ka majanduslikus mõttes. Täiuslikumaiks osutuvad elektrilised distantskontrolli süsteemid. Nende ulatuslik kasutamine viimastel aastatel seletub eeskätt universaalsuse ja suure töökaugusega. Elektriliste süsteemide kasutamine võimaldab märgatavalt kiirendada kontrollioperatsioone ja samal ajal rakendada ühetüübilisi universaalseid täiturelemente.

Elektrilistes distantskontrolli süsteemides on kasutusel peamiselt kaks mõõtesõlmede ülesehitusprintsiipi: otsetoimeline ja kompensatsiooniline.

Otsetoimelistes kontrollisüsteemides ühendatakse täiturelement lihtsalt mõõteelemendiga elektriliini abil. Vaatamata sellise süsteemi lihtsusele, pole otsetoimelised kontrolliseadmed küllalt suurte vigade tõttu sageli kasutatavad. Vigade põhjusteks võivad olla keskkonna temperatuuri muutused, toitepinge kõikumine, üksikute parameet-



Joon. 4-19. Takistustermomeeter

rite ebapüsivus jne. Vigade vähendamist võimaldab diferentsiaalskeemide kasutamine (tihti koos võimenditega).

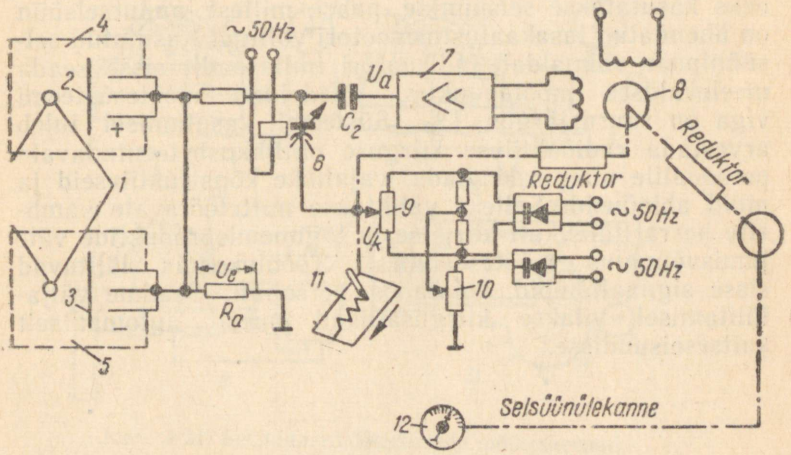
Otsetoimelise automaatkontrolli süsteemi näitena vaatleme takistustermomeetri (joon. 4-19, *a*) tööpõhimõtet, mille täitursõlmena kasutatakse magnetelektrilist logomeetrit. Logomeeter kujutab endast mitme liikuva mähisega elektrimõõteriista, mille näit vastab voolude suhtele üksikutes mähistes. Mõõtesõlme põhiosaks on manganiintakistitest R_1, R_2 ja R_3 (paigutatakse tavaliselt logomeetri korpusesse) ning tajurist R_t moodustatud sildlülitus. Tajurina on siin kasutatavad takistustermomeetrid, mis harilikult paiknevad mõõtesillast küllalt kaugel. Logomeetri *L* üks mähis ühendatakse mõõtesilla indikaatordiagonaali, teine aga toiteallikaga. Mõõdetava keskkonna temperatuuri muutumisega kaasneb tajuri takistuse R_t muutus, millest tingituna muutub ka vool logomeetri mõõtesillaga ühendatud mähises ja mille tõttu logomeetri osuti pöördub nurga võrra, mis vastab keskkonna temperatuuri muutusele. Logomeetri põhiomaduse kohaselt vastab osuti näit voolude suhtele üksikutes mähistes, mille tõttu on võimalik vältida toiteallika pinge kõikumiste mõju. Toiteallika pinge muutus põhjustab voolu muutumist mõlemas logomeetri mähises, kuid nende suhe jääb konstantseks.

Kõige tõsisemaks vaadeldud süsteemi vigade allikaks on tajuri ühendusliini takistuse muutumine näiteks keskkonna temperatuuri mõjul. Seda viga on võimalik vähendada, ühendades tajuri mõõtesillaga kolmejuhtmelise ühendusliini abil vastavalt joonisele 4-19, *b*. Sel juhul liitub juhtme *1* takistus silla õla R_1 takistusega, juhtme *2* takistus aga

tajuri takistusega R_t. Mõlema juhtme takistused mõjutavad erinevate silla õlgade (naaberõlgade) takistusi praktiliselt ühesuguselt ja seepärast vool silla indikaatordiagonaali ühendatud logomeetri mähises märkimisväärselt ei muutu. Vaadeldud skeem on sobiva tajuri korral kasutatav ka muude parameetrite automaatkontrolliks.

Suurema vajaliku kontrollitäpsuse korral on otstarbekam kasutada kompensatsiooniprintsiibil töötavaid mõõtesüsteeme. Need koosnevad reeglina andurist ja vastavast sekundaarmõõteriistast. Taoliste süsteemide laia leviku tõttu vaatleme sekundaarmõõteriistu üksikasjalikult järgmises paragrahvis.

Kõrvuti selliste süsteemidega kasutatakse aga ka mitmesuguseid teistel kompensatsiooniprintsiipidel töötavaid kontrolliseadmeid. Näitena vaatleksime mitmesuguste lintide ja kilede paksuse kontaktivaba automaatkontrolli süsteemi tööpõhimõtet (joon. 4-20). Süsteemis kasutatakse ära radioaktiivse β-kiirguse neeldumise sõltuvust lindi paksusest. Kontrollitav lint *2* liigub läbi ionisatsioonikambri *4*, võrdluskambrisse *5* aga on paigutatud vajaliku paksusega näidis (lint) *3*. Kumbki kamber kasutab omaette kiirgusallikat *1*. Kahe ühesuguse ionisatsioonikambri kasutamisel on võimalik vältida keskkonna temperatuurist ja rõhust tingitud vigu. Ka kiirgusallikate ajaline ebaühtlus



Joon. 4-20. Lindi paksuse kontrolliautomaat

avaldab vaadeldavas skeemis vähem mõju, kui see oleks otsetoimelise kontrollisüsteemi korral. Kui mõõdetava lindi paksus vastab näidisele, tekib mõlemas ionisatsioonikambris võrdne vool ning kambrite ühisel koormustakistil R_a need voolud vastastikku kompenseerudes pingelangu ei tekita. Lintide erineva paksuse puhul on aga nende kiirguse neelamise võime erinev ning koormustakistil R_a tekib jääkalalispinge U_e, mis dünaamilise kondensaatormuunduri *6* abil muundatakse vahelduvpingeks U_a. See läheb eralduskondensaatori C_2 kaudu vahelduvpingevõimendi *7* sisendisse. Võimendatud pingega rakendatakse tööle kahefaasiline reversiivmootor *8*. Viimase abil nihutatakse kompensatsioonireohordi *9* liugkontakti, kuni kompensatsioonipinge U_k täielikult kompenseerib alalispinge koormustakistil R_a, s. o. pinge U_e. Kompenseerimisprotsessi käigus mootorile *8* antav vahelduvpinge faas ja sellega ka mootori pöörlemissuund sõltub sellest, kumb võrreldavatest pingetest U_k ja U_e oli suurem. Süsteem hakkab liikuma aga alati tasakaalu suunas. Soovitud paksuse juures nullimiseks on süsteemis potentsiomeeter *10*. Kontrollisüsteemi täiturelementideks on registreerimisseade *11* ja indikaator *12*. Registraatori sulg on tasakaalustusmootoriga mehaaniliselt sidestatud ning pannakse viimase abil liikuma. Registratsioonilinti nihutatakse soovitud kiirusega elektrimootori abil. Mõõteriista näitude distantsülekandeks kasutatakse selsüünide paari, millest andurselsüün on ühendatud tasakaalustusmootori võlliga. Kasutatud selsüünipaar võimaldab indikaatori nullasendit sisse seada meelevaldses mõõtepunktis. Vaadeldud mõõtesüsteemi viga on suurusjärgus 1%. Süsteemi kasutamisel tuleb arvestada radioaktiivse kiirguse ohtlikkust teenindavale personalile ning rakendada vajalikke konstruktiivseid ja muid abinõusid. Selleks välditakse mittetöötavate kambrite korral täielikult kiirguse ja lagunemisproduktide väljumisvõimalus mõõteseadmest. Tööolukorras lülituvad sisse signaallambid, hoiatades personali. Seadme väljalülitamisel viiakse kiirgusallikad uuesti automaatselt kaitseseisundisse.

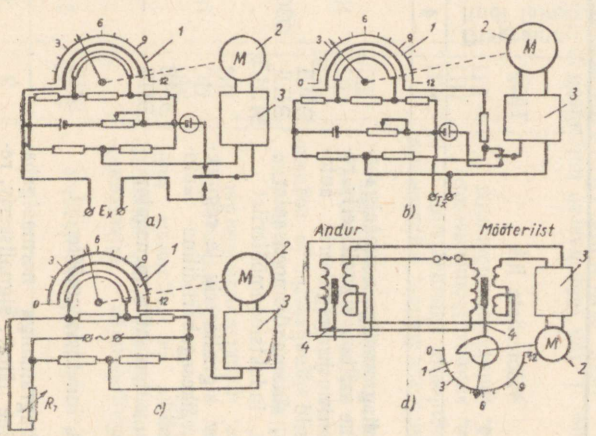
4. Universaalsed sekundaarmõõteriistad

Automaatkontrolli süsteemides kasutatavad automaatsillad, automaatkompensaatorid ja induktsioonmõõteriistad kuuluvad tööprintsiibi poolest võrdlusmeetodil töötavate tasakaalustatavate mõõteseadiste hulka, mis tagavad suurima mõõtetäpsuse. Mõõteskeem tasakaalustatakse neis automaatselt järgivajamitega.

On väga palju mõõteriistade modifikatsioone, mis erinevad mõõtelülituse, mõõdetava suuruse iseloomu, täpsusklassi, tasakaalustusorgani, järgivajami ja mõõtetulemuse registreerimisviisi poolest.

Universaalseis sekundaarmõõteriistades on reeglina kasutusel kolm mõõtelülituse liiki: *kompensatsioonlülitus* (joon 4-21, *a* ja *b*), *sildlülitus* (joon. 4-21, *c*) ning *diferentsiaal-trafolülitus* (joon. 4-21, *d*).

Kompensatsioonlülituse tööpõhimõtteks on kahe pinge või voolu võrdlemine nullorgani abil, kusjuures kasutatakse tasakaalustatud mõõtelülitust. Tasakaalustatavad kompensatsioonlülitused on rakendatavad elektromotoorjõu, pinge ja voolu mõõtmiseks, aga ka paljude mitteelektriliste suuruste juures: temperatuur, vesiniku ioonide kontsentratsioon (pH), gaasisegu komponentide (CO, CO_2, H_2



Joon. 4-21. Sekundaarmõõteriistade mõõteskeemid:
a — pingekompensatsioon; *b* — voolukompensatsioon; *c* — sildskeem; *d* — diferentsiaaltrafolülitus; *1* — skaala; *2* — reversiivmootor; *3* — elektronvõimendi; *4* — südamik

Tabel 4-1

Automaatsete sekundaarmõõteriistade andmed

№	Mõõteriista liik	Tüüp	Diagrammlindi laius mm	Mõõteviga %	Kontrollitavate punktide arv	Tasakaalustusaeg s	Lindi liikumiskiirus mm/h	Gabariidid kilbil mm	Märkusi
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	Ketasdiagrammiga normaalgabariidiline näitav, signaliseeriv, registreeriv ja reguleeriv automaatsild	ЭМД							
2.	Sama, automaatkompensaator	ЭПД	Ø300	1,0	1	5; 15	täisring 24 h	506×420	
3.	Sama, induktsioonmõõteriist	ЭПИД							
4.	Näitav, signaliseeriv ja reguleeriv väikesegabariidiline automaatsild	ЭМВ							
5.	Sama, automaatkompensaator	ЭПВ	—	0,5	1; 6; 12	2,5; 8	—	330×263	Skaala pikkus 660 mm
6.	Sama, induktsioonmõõteriist	ЭИВ							
7.	Lintdiagrammiga normaalgabariidiline näitav, signaliseeriv, registreeriv ja reguleeriv automaatsild	ЭМП				1; 3; 6;			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8.	Sama, automaatkompensaator	ЭПП	275	0,5	12; 24	1; 2,5; 8	20-9600	507×483	
9.	Lintdiagrammiga väikesegabariidiline näitav, signaliseeriv, registreeriv ja reguleeriv automaatsild	МС							
10.	Sama, automaatkompensaator	ПС	160	1,0	1; 2; 3;	2,5; 8	20-720	330×287	
11.	Sama, induktsioonmõõteriist	ДС			6; 12				
12.	Lintdiagrammiga miniatuurne näitav, signaliseeriv ja reguleeriv automaatsild	МСМ					120;		
13.	Sama, automaatkompensaator	ПСМ	100	1,0	1	1; 2,5; 6	20; 60	240×190	
14.	Sama, induktsioonmõõteriist	ДСМ							
15.	Miniatuurne näitav, signaliseeriv ja reguleeriv automaatsild	МП							Skaala
16.	Sama, automaatkompensaator	ПП	—	0,5	1	2,5	—	204×190	pikkus
17.	Sama, induktsioonmõõteriist	ДП						(190×170)	315 mm

Märkus: 1. Iga tüüp haarab hulgaliselt modifikatsioone, mida tähistatakse täiendavate numbrite ja tähtedega (näit. ЭПВ 2-10А; ППР 4-03; ЭМП-65АМ2-2; jne.).
2. Igal modifikatsioonil võib olla mitmesuguseid skaalade gradueeringuid kooskõlas kasutaja vajadustega.

jne.) kontsentratsioon, õhuniiskus jne., mis vastavate generaatorandurite abil eelnevalt muundatakse üheks ülalloetletud elektriliseks suuruseks. Selliseid automaatseid mõõteriistu nimetatakse automaatkompensaatoriteks, tihti ka automaatpotentsiomeetriteks. Käesoleval ajal toodetakse automaatkompensaatoreid tööstuslikult vaid alalispinge mõõtmiseks või mitteelektriliste suuruste mõõtmiseks, mille anduri väljundisuuruseks on alalispinge (vt. tabel 4-1).

Tasakaalustatud silla juures kasutatakse niisugust mõõtelülitust, kus mõõdetavat takistust, induktiivsust või mahtuvust võrreldakse tuntud täppistakistuse, -mahtuvuse või -induktiivsusega sildlülituses, mille väljundidiagonaali on lülitatud nullindikaator. Tasakaalustatud sillad sobivad takistuse, mahtuvuse ja induktiivsuste mõõtmiseks. Kuid parameetriliste andurite vahendusel on nendega võimalik mõõta ka mitteelektrilisi suurusi, nagu temperatuur, soolade kontsentratsioon lahustes, õhu ja gaaside suhteline niiskus, gaasisegu komponentide kontsentratsioon, deformatsioon jne.

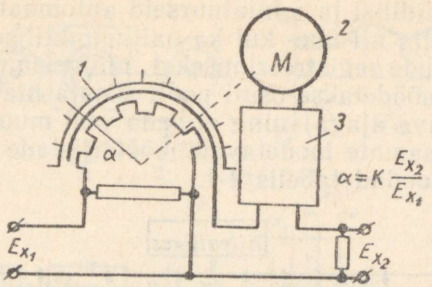
Tasakaalustatud sildlülituse põhimõttel töötavaid automaatmõõteriistu nimetatakse automaatsildadeks. Sildlülitust toidetakse neis kas alalisvoolu või vahelduvvooluga ja mõõteriistu kasutatakse peamiselt mitteelektriliste suuruste mõõtmiseks.

Diferentsiaal-transformaatorlülituse tööpõhimõtteks on liikuva südamikuga induktsioonanduri sekundaarmähise klemmidel tekkiva vahelduvpinge mõõtmine võrdlusmeetodil. Võrdlemiseks kasutatakse teist analoogilist induktsioonandurit, mille klemmidel tekitatakse vahelduvpinge samuti terassüdamiku nihutamisega. Tasakaaluolukord määratakse ka siin nullindikaatoriga. Sellises mõõteriistas toimub anduri südamiku tundmatu nihke võrdlemine mõõteriistasisese võrdluselemendi südamiku tuntud (või kergesti määratava) nihkega, kusjuures elektriliste vahelülide andur võib paikneda mõõteriistast küllalt kaugel.

Diferentsiaal-transformaatorlülitust kasutatakse peamiselt vedelike ja gaaside kulu, rõhkude, tõmbe, nivoo ning muude suuruste mõõtmiseks, mida saab muundada induktsioonanduri südamiku lineaarnihkeks.

Kirjeldatud tüüpi mõõteriistu nimetatakse diferentsiaal-trafolülitusega automaatmõõteriistadeks.

Märksa harvemini kasutatakse automaatmõõteriistades *logomeetrilisi mõõtelülitusi* (joon. 4-22), mis võimaldavad



Joon. 4-22. Logomeetriline mõõtelülitus:
1 — skaala; *2* — reversiivmootor; *3* — elektronvõimendi

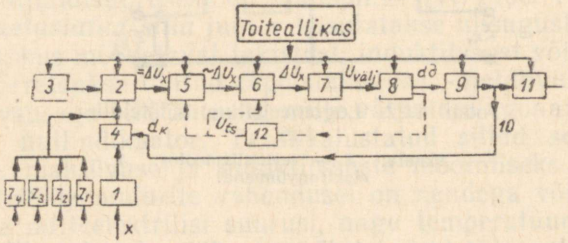
määrata kahe elektrivoolu, pinge või vastavate mitteelektriliste suuruste suhet. Taolisi mõõteriistu nimetatakse elektromehaanilisteks või elektronlogomeetriteks.

Automaatmõõteriistu nimetatakse sageli ka mõõdetava suuruse liigi järgi, nagu näiteks automaatvoltmeeter, automaatne pH-meeter, automaatgaasianalüsaator, automaatniiskusemõõtja jne. Automaatmõõteriista mõõtetäpsust iseloomustab nende täpsusklass, mis kompensaatoritel ja sildadel võib olla 0,2; 0,5 või 1,0 ning diferentsiaaltrafo-tüüpi riistadel — 0,5; 1,0; 1,5; 2,0.

Sõltuvalt mõõteriistade automaatseks tasakaalustamiseks kasutatava järgivajami struktuurskeemist jagunevad automaatmõõteriistad staatilisteks ja astaatilisteks. Astaatilise tasakaalustussüsteemi korral sisaldab järgivsüsteem integraallüli-reversiivmootori. Niisuguste mõõteriistade tasakaalustamiseks liigutab reversiivmootor tasakaalustusorgani (mõõtelülituse reokordi või terassüdamiku) tasakaaluasendisse. Staatilise tasakaalustussüsteemiga mõõteriista struktuurskeemis integraallüli puudub. Neis toimub mõõdetava elektrilise suuruse, pinge või voolu tasakaalustamine sügavat negatiivset tagasisidet omava võimendi väljundivooluga.

Automaatmõõteriistad võimaldavad (kas autonoomselt või täiendavate blokkide vahendusel) näitude registreerimist, vastavate protsesside automaatreguleerimist, automaatsignalisatsiooni ja täita ka muid funktsioone. Käesoleval ajal toodetakse tööstuslikult normaalgabariidilisi,

väikesegabariidilisi ja miniatuurseid automaatmõõteriistu, mis võivad olla nii ühe- kui ka paljupunktilised (mitmete andurite näitude registreerimiseks), mitmesuguse töökiirusega (seda mõõdetakse osuti poolt skaala ulatuse läbimiseks kulutatava ajaga) ning erineda veel muude tunnuste poolest. Tähtsamate toodetavate mõõteriistade põhitüüpide andmed on toodud tabelis 4-1.

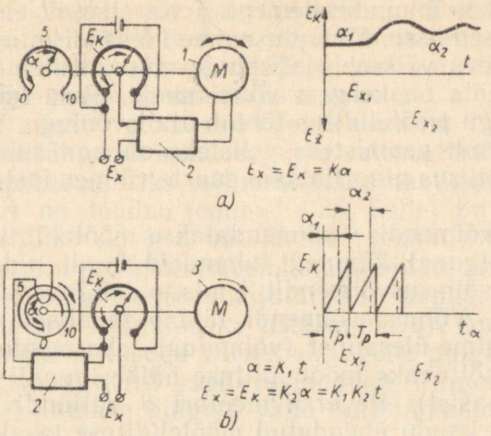


Joon. 4-23. Automaatse elektronmõõteriista blokkskeem

Kõikidel astaatilise tasakaalustussüsteemiga automaatsete elektronmõõteriistade tüüpidel ja modifikatsioonidel on ühtne struktuurskeem (joon. 4-23). Andur *1*, mille ülesandeks on mõõdetava mitteelektrilise suuruse muundamine vastavaks elektriliseks suuruseks, ühendatakse mõõteskeemiga *2* ühendusliini abil. Mõõteskeem tervikuna sisaldab veel toiteallika *3*, tasakaalustusorgani *4* ning abielemendid Z_1 ja Z_2 mitmesuguste kahjulike välismõjutuste (temperatuur jne.) kompenseerimiseks. Sõltuvalt anduri ja mõõtelülituse liigist toidetakse neid stabiliseerimata või stabiliseeritud alalis- või vahelduvvoolu toiteallikast. Kompensatsioonlülituse toide peab olema stabiliseeritud või sel peab olema seadis, mis normaalelemendi järgi korrigeerib perioodiliselt mõõteskeemi toitva kuivelemendi pinget.

Valmistatakse *pidevatoimelisi automaatmõõteriistu*, mille tasakaalustussõlmel on järgivajam, ning *tsüklilise tasakaalustusega mõõteriistu*, kus põhiosaks on skaneerimisseadis.

Esimesel juhul on tasakaalustumisprotsess mõlemasuunaline (joon. 4-24, *a*). Tasakaaluolukorras on nullindikaator *2* pingestamata, reversiivne tasakaalustusorgan *1* ei liigu ning seega on tasakaaluasend täpselt fikseeritud.



Joon. 4-24. Automaatmõõteriistade tasakaalustusprintsiibid:

a — pidevatoimeline tasakaalustusprotsess; *b* — tsükliline tasakaalustusprotsess; *1* — reversiivmootor; *2* — nullindikaator; *3* — sünkroonmootor

Tasakaaluolukorra rikkumisel võib sellele uuesti läheneda nii väiksemate kui ka suuremate mõõtesuuruste poolelt. Tsüklilist tasakaalustusprintsiipi kasutatakse automaatkompensaatoreis harvemini. Selle meetodi olemus seisneb järgnevas (joon. 4-24, *b*). Tasakaalustusorgan on varustatud ühtlaselt pöörleva mittereversiivse ajamiga ning tekitab mõõdetavale pingele vastusuunatud pinge. Tasakaalustuspinge suureneb ühtlaselt nullist maksimumini, muutub siis hetkeliselt nulliks ja alustab uut kasvutsüklit. Mistahes mõõdetava suuruse korral osutub tasakaalustuspinge teataval hetkel mõõdetavaga võrdseks. Tasakaaluhetked fikseeritakse igal tsüklil nullorganiga *2*, mis tekitab vastavad impulsid, mida edasiselt saab kasutada mõõdetava suuruse registreerimiseks, juhtimiseks ja reguleerimiseks. Pidevatoimeline tasakaalustusprintsiip järgivajamiga on aga tööstuslikes automaatmõõteriistades märksa enam levinud.

Automaatmõõteriistades (joon. 4-23) on tasakaalustusorgan *4* enamasti reokord, liikuva südamikuga induktsioonpool või muudetava mahtuvusega kondensaator. Tasakaalu rikkumise korral tekib mõõtelülituse väljundis hälbesignaal,

mis satub kas muunduselementi *5* või otseselt elektronvõimendi *6* sisendisse. Muundusastme ülesandeks on võimendisse siseneva väikese alalispinge muundamine vahelduvpingeks, mida on kergem võimendada. Seda kasutatakse siis, kui kogu mõõtelülitus töötab alalisvooluga. Vahelduvvooluvõimendi peamisteks eelisteks on aga suurem nullpunkti stabiilsus ning lihtsam suurte võimenduste saamise võimalus.

Elektronvõimendis [1] võimendatakse mõõtelülitusest saadav hälbesignaal kümneid tuhandeid kordi ning sellega tüüritakse võimsusvõimendit *7*, mis toidab reversiivmootori juhtmähist. Võimsusvõimendi täidab tavaliselt ka faasitundliku astme ülesannet (võimaldab teha mootori pöörlemissuuna sõltuvaks mõõtelülituse hälbesignaali polaarsusest või faasist). Reversiivmootori *8* väljundivõlliga on reduktori *9* kaudu ühendatud mõõtelülituse tasakaalustusorgan *4*. Reversiivmootori *8* pöörlemisel muutuvad tasakaalustusorgani parameetrid kas reokordi liugkontakti või induktsioonpooli südamiku nihke tõttu.

Vaadeldavas süsteemis pöörleb mootor kuni tasakaalustusasendini. Seejuures on tasakaalustusmootori väljundivõll kinemaatilise ülekande *10* kaudu sidestatud mõõteriista osutiga (näidikuga), mis liigub piki gradueeritud skaalat, aga ka registreerimisseadisega ja reguleerimisning signalisatsioonielementidega *11*.

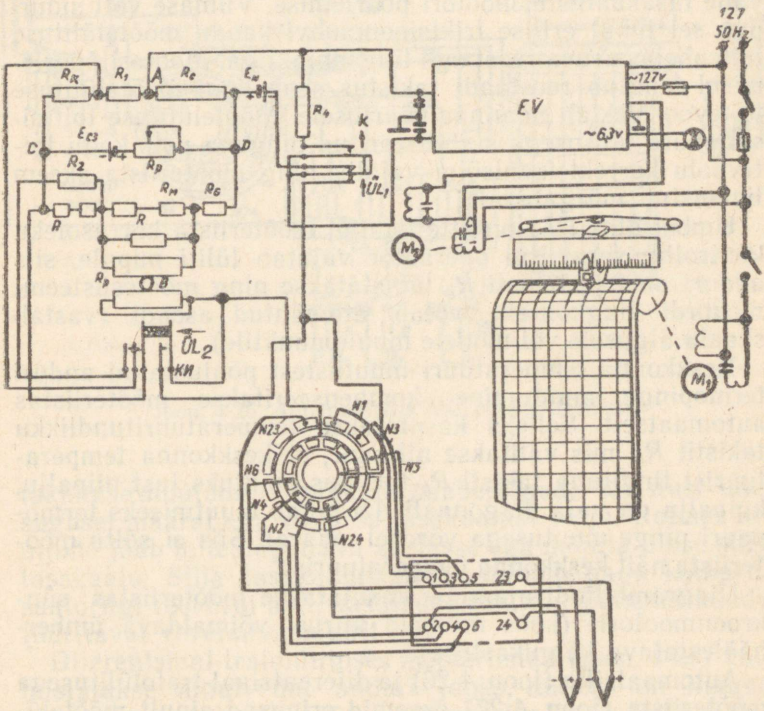
Automaatmõõteriistad on reeglina määratud kasutamiseks koos ühte liiki anduritega. Üksikud tüübid on aga kasutatavad ka kahte liiki anduritega (näit. termopaaride ja takistustermomeetritega, kuid sel juhul kuulub mõõteriista juurde kaks automaatselt ümberlülituvat mõõtelülituse komplekti).

Viimasel ajal on hakatud kasutama ka teistsuguse põhimõtteskeemiga automaatmõõteriistu. Neis rakendatakse staatilise tasakaalustamise printsiipe kontaktivaba aparatuuri baasil. Seejuures on nad mõeldud töötamiseks ühtse unifitseeritud sisendisignaaliga (näit. 0-5 mA), sõltumata mõõdetava mitteelektrilise suuruse iseloomust. Mitmesugused mõõteriistade täiendavad funktsioonid — registreerimine ja signalisatsioon — realiseeritakse vastavate stan-

[1] Mõningais automaatmõõteriistade liikides kasutatakse samasuguste ülesannete täitmiseks ka suuremat töökindlust omavaid pooljuht- ja magnetvõimendeid.

dardsete blokkide lisamisega põhiskeemile. Erinevate elektriliste ja mitteelektriliste suuruste mõõtmise võimalus tagatakse samuti kohaseid mõõtelülitusi omavate lisablokkide lülitamisega anduri ja mõõteriista vahele.

Tüüpilised põhimõtteskeemid. Järgnevalt vaadeldakse lähemalt mitmesuguste automaatmõõteriistade liikide tüüpskeeme. Üks sellistest (automaatkompensaatori ПС skeem) on toodud joonisel 4-25. Sellel on kujutatud mitmepunktilise (2, 4, 6 või 12 mõõtepunkti) mõõteriista modifikatsiooni põhimõtteskeem ühetüübiliste andurite korral (joonisel on anduritena kujutatud termopaarid, kuigi on täiesti võimalik kasutada ka teistsuguseid). Anduri ühendamisel mõõtelülitusega võrreldakse selle pinget mõõtelülituse diagonaalilt *AB* saadava pingega. Pingete ebavõrdsuse korral antakse pingete vahe nullindikaator-elektron-



Joon. 4-25. Automaatkompensaatori ПС põhimõtteskeem

võimendi EV sisendisse. Võimendatud pinge paneb pöörlema võimendi väljundisse lülitatud reversiivmootori. Viimane omakorda liigutab mootori võlliga kinemaatiliselt sidestatud reokordi R_p liugkontakti, muutes sellega mõõtelülituse diagonaali AB pinget. Tasakaalustusmomendil muutub pinge võimendi sisendis (ja väljundis) nulliks ning mootor seiskub.

Andurite ümberlülitamine toimub paljupositsioonilise ümberlülitiga, mis pannakse liikuma sünkroonmootoriga M_1. Mõõtelülituse töövool hoitakse konstantsena töövoolu korrektsioonimehhanismiga, mis sama sünkroonmootoriga perioodiliselt töösse lülitatakse. Töövoolu järjekordseks kontrolliks operaatori soovil on vaja ümberlüliti $ÜL_1$ viia asendisse K. Sel juhul antakse elektronvõimendi sisendisse normaalelemendi pinge E_N ja takistil R_c tekkiva pingelangu vahe. Kui need pole võrdsed, siis põhjustab pingelangude vahe tasakaalustusmootori pöörlemise. Viimase võll sidurdub sel juhul erilise friktsioonmuhvi kaudu mõõtelülituse toiteahelas asuva reostaadi liugkontaktiga. Mootori pöörlemisel muutub reostaadi takistus seni, kuni mõõtelülituse toitevool vastab nominaalväärtusele. Mõõtelülituse toitmisel suure täpsusega stabiliseeritud pingega pole kogu toitevoolu korrektsioonisõlm vajalik ning mõõteriista skeem lihtsustub märgatavalt.

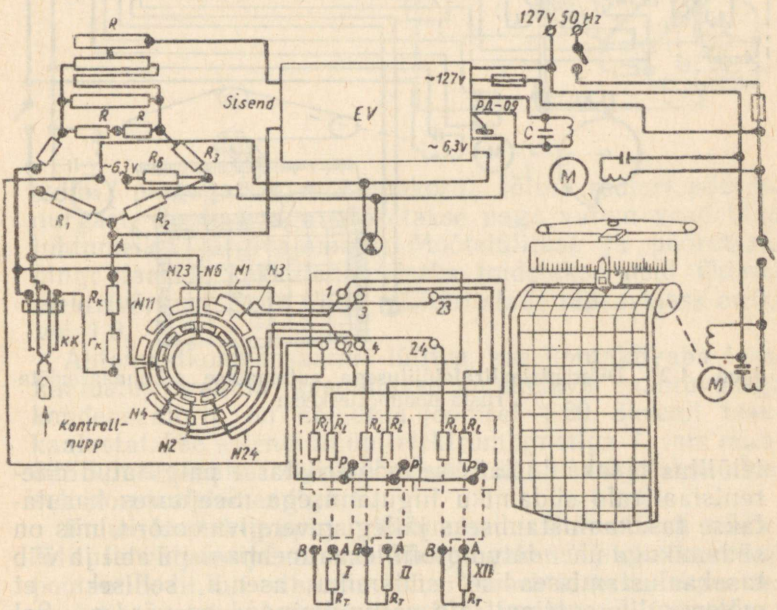
Ümberlüliti $ÜL_2$ on ette nähtud mõõteriista korrasoleku kontrollimiseks. Kui operaator vajutab lüliti nupule, siis anduri ahel ja takisti R_k lühistatakse ning mõõtesüsteemi reokordi liugkontakt võtab ettenähtud asendi (vastab skaala algusele või mõnele muule punktile).

Keskkonna temperatuuri muutustest põhjustatud anduri termopinge muutumine kompenseeritakse mõõteriistas automaatselt. Selleks kasutatakse temperatuuritundlikku takistit R_k, mis valitakse nii suur, et keskkonna temperatuurist tingituna takisti R_k takistus muutuks just niipalju, kuipalju on vaja diagonaali AB pinge muutmiseks termopaari pinge muutusega võrdsel määral. Siis ei sõltu mõõteriista näit keskkonna temperatuurist.

Diagrammlindi ajamina kasutatakse mõõteriistas sünkroonmootorit (koos mitmeid kiirusi võimaldava ümberhäälestatava käigukastiga).

Automaatsilla (joon. 4-26) ja diferentsiaal-trafolülitusega mõõteriista (joon. 4-27) skeemid erinevad ainult mõõtelülituselt. Automaatsillas on kasutusel tasakaalustatud sild-

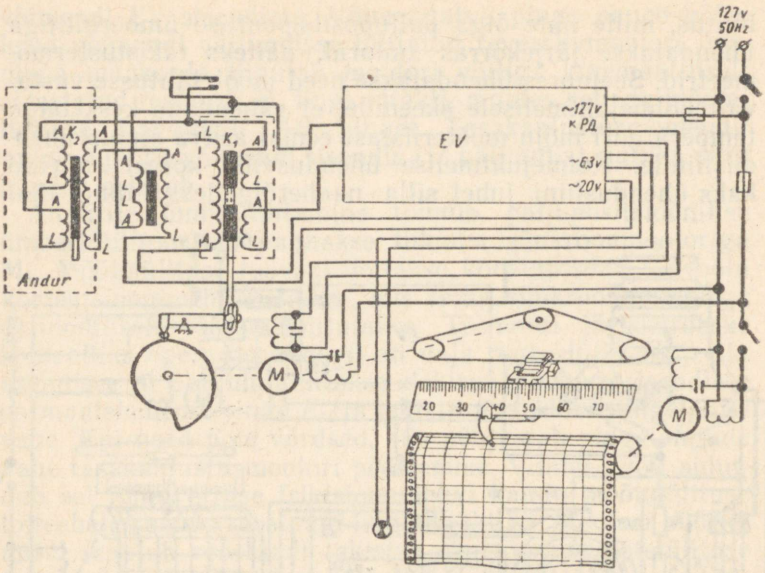
lülitus, mille ühte õlga paljupositsioonilise ümberlülitiga ühendatakse järjekorras andurid, näiteks takistustermomeetrid. Seejuures ühendatakse need mõõtelülitusse vastavalt kolmejuhtmelisele skeemile, et vähendada keskkonna temperatuuri mõju mõõteriistast eemal asuva anduri ühendusliinile. Kolmejuhtmelise ühendusviisi korral satuvad kaks ühendusliini juhet silla naaberõlgadesse ning liini



Joon. 4-26. Automaatsilla MC põhimõtteskeem

takistuse muutumine mõjutab naaberõlgade takistusi ühesugusel määral ega vii silda tasakaalust välja. Kolmas liinijuhe jääb toitediagonaali ahelasse ega mõjuta üldse silla tasakaalu. Silla tasakaalustamine toimub nagu kompensaatorilgi reokordi abil, kasutades elektronvõimendi kaudu tüüritavat reversiivmootorit.

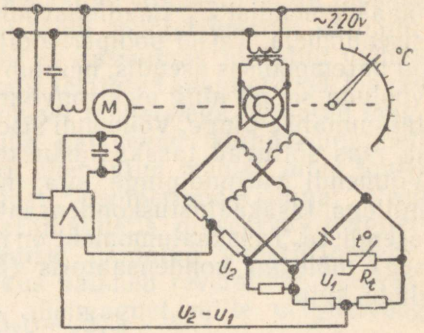
Diferentsiaal-trafolülituses mõõteriistad (joon. 4-27) valmistatakse ainult ühe anduri jaoks, milleks on liikuva südamikuga (plunžer-tüüpi) diferentsiaaltrafo. Selle südamik ühendatakse membraani või mõne muu tajuriga. Mõõ-



Joon. 4-27. Diferentsiaaltrafolülitusega automaatse sekundaarmõõteriista põhimõtteskeem

telülitus tasakaalustatakse mõõteriistasse paigutatud diferentsiaaltrafo südamiku liigutamisega. Seejuures kasutatakse tasakaalustamiseks jällegi reversiivmootorit, mis on südamikuga ühendatud profiillekaalmehhanismi abil ja viib tasakaalustamisseadise südamiku asendi selliseks, et mõlema diferentsiaaltrafo väljundipinged on võrdsed. Sel juhul muutub elektronvõimendisse antav pinge nulliks ja reversiivmootor seiskub. Lekaali profiil valitakse sõltuvalt anduri karakteristikuist nii, et saavutataks võimalikult ühtlane mõõteriista skaala. Nii kasutatakse rõhu mõõtmisel lineaarset lekaali, kulu mõõtmisel aga paraboolset lekaali.

Joonisel 4-28 on kujutatud automaatsild kontaktivaba tasakaalustussüsteemiga, milles tasakaalustusorganina kasutatakse pöördtrafot. Anduriks on antud juhul takistustermomeeter R_t. Viimane moodustab sillas temperatuuri muutumisest sõltuva õla. Temperatuuri muutumine kutsub esile takisti R_t takistuse muutumise, mille tagajärjel sild läheb tasakaalust välja ja silla väljunddiagonaalis tekib kindla faasiga pinge U_1. See pinge tasakaalustatakse pöörd-

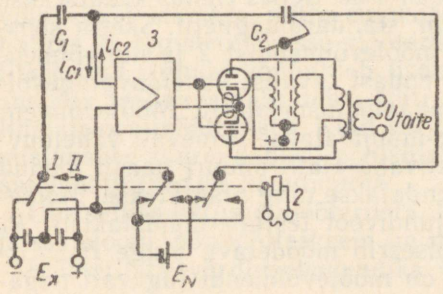


Joon. 4-28. Kontaktivaba tasakaalustussüsteemiga automaatsild

trafo *1* pingega U_2, mis omakorda sõltub rootori pöördenurgast. Rootorit aga pööratakse nagu varem vaadeldud juhtumeilgi järgivajamiga. Mõõtelülituse ja pöördtrafo pinge faaside kokkulangemiseks toidetakse neid ühisest elektrivõrgust. Seda tüüpi mõõteriistade täpsusklass on 0,5 või 1,0.

Automaatkompensaatori lülitus, kus kontaktivaba tasakaalustusorganina kasutatakse muudetava mahtuvusega kondensaatorit, on näidatud joonisel 4-29. Skeemi tasakaalustatakse solenoidtüüpi elektromagnetiga *1*, mis muudab kondensaatori C_2 mahtuvust. Lülitust toidetakse otseselt normaalelemendiga E_n.

Kolme kontaktgrupiga vibromuundur *2* muundab mõõtelülituse väljundipinge vahelduvpingeks. Näiteks esimesel poolperioodil, kui vibromuunduri kontaktid on vasakpoolses asendis, laetakse kondensaatorit C_1 vooluga i_{c1} mõõdetava pinge ahelast E_x ning kondensaatorit C_2 vooluga i_{c2} nor-

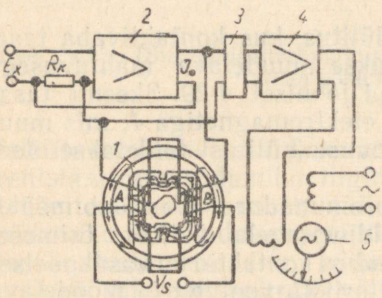


Joon. 4-29. Mahtuvusliku tasakaalustusorganiga automaatkompensaatori põhimõtteskeem

maalelemendist E_n. Laadimisvoolude vahe läbib võimendi *3* sisendiahela. Teisel poolperioodil, kui muunduri kontaktid on parempoolses asendis, muutub kondensaatorite laadimisvoolude suund ning elektronvõimendi sisendis saame vastassuunalise pinge. Võimendi sisendis tekkiva pinge suurus ja faas sõltuvad tasakaalustuskondensaatori C_2 asendist. Võimendi väljundipinge aga muudab solenoidi asendit, millega tasakaalustuskondensaator C_2 viiakse tasakaalu asendisse. Tasakaalumoment on määratud laengute võrdsusega mõlemas kondensaatoris ($Q_1 = Q_2$), mida võib avaldada kujul

$$C_1 E_x = C_2 E_n.$$

Siit on näha, et kondensaatorit C_2 on võimalik graduee rida mõõdetava pinge E_x järgi. Et kondensaatori laadimisvool on tühiselt väike (alla 0,1 μA), siis see praktiliselt ei koorma normaalelementi ning langeb ära lisatoitealliika vajadus, mis toidab mõõtelülitust.



Joon. 4-30. Standardmagnetiga automaatkompensaatori põhimõtteskeem:
1 — standardmagnet; *2* — mõõtevõimendi; *3* — filter; *4* — vahelduvpingevõimendi; *5* — tasakaalustusmootor

Täielikult kontaktivaba automaatmõõteriista põhimõtteskeem on näidatud joonisel 4-30. Selles riistas kasutatakse tasakaalustusorganina nn. standardmagnetit. Skeem koosneb kahest võimendist: mõõtevõimendist *2* ja nullvõimendist *4*. Viimane kujutab endast tavalist vahelduvpingevõimendit, mis tüürib tasakaalustusmootorit. Mõõtevõimendisse sisenev alalispinge muundatakse eelnevalt vahelduvpingeks (näiteks kontaktivaba Halli anduri baasil loodud muunduriga), siis võimendatakse ning alaldatakse. Mõõtevõimendi alaldatud väljundivool tekitab täppistakistil R_k pingelangu, mis kompenseerib mõõdetava pinge E_x. Kirjeldatud lülituse korral on mõõtevõimendi tugevalt nega-

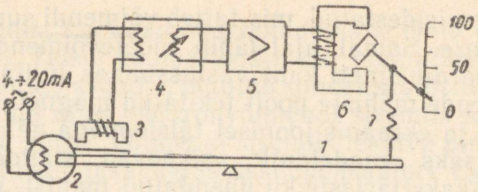
tiivselt tagasisidestatud, mis tagab võimendi suure täpsuse ja stabiilsuse. Samal ajal läbib mõõtevõimendi väljundivool standardmagneti kaht vastassuunas lülitatud mähist *A* ja *B*. Nende mähiste poolt tekitatud magnetvood loovad südamikus ja ekraanis joonisel täisjoonega näidatud magnetvoo. Lisaks vaadelduile paiknevad standardmagneti teraskehal kaks järjestikku ühendatud mähist, mida toidetakse vahelduvvooluvõrgust poolperioodalaldiga. Need mähised tekitavad standardmagnetis pulseeruva magnetvoo, mille suund on joonisel näidatud punktiirjoonega. Standardmagneti südamikus paikneb reversiivse tasakaalustusmootoriga pööratav püsimagnet, mille magnetvoog samuti läbib südamikku.

Kõigi nende magnetvoogude koostoimel tekib alalisvoolumähistes vahelduvpinge, mis läheb filtri *3* kaudu nullvõimendisse ja põhjustab seal püsimagneti pöördumise seni, kuni selle magnetvoog tasakaalustab süsteemi. Seega on antud juhul tegemist kahekordse tasakaalustamisega. Esiteks tasakaalustatakse mõõdetav pinge tugeva negatiivse tagasisidega mõõtevõimendiga ja teiseks tasakaalustatakse väljundi alalisvool standardmagneti ja reversiivmootoriga. Väikeste püsimagneti pöördenurkade ja sobiva magnetahela korral võib saavutada mõõtevõimendi väljundivoolu I_0 ja püsimagneti, samuti mõõteriista osuti pöördenurga vahel lineaarse seose.

Unifitseeritud sekundaarmõõteriistade korral kasutatakse, sõltumata mõõdetava suuruse liigist, erilisi mõõtemuundureid, mis annavad unifitseeritud väljundisignaali. Seejuures vahepealne mõõtemuundur koos väljundisignaali unifitseerimisega võimendab seda vajalikul määral. Kõige sagedamini kasutatakse kompensatsioon-tüüpi mõõtemuundureid unifitseeritud alalisvoolu väljundisignaaliga suurusega 0,5—5 mA, 0—5 mA või 4—20 mA. Väljundisignaali võib edasi suunata mitmesugustesse seadmetesse, nende hulgas ka registreerivasse mõõteriista. Küllalt võimas unifitseeritud signaal võimaldab lisaseadmeid tunduvalt lihtsustada ja odavamaks teha, tihti aga kasutada väljundis lihtsalt osutmõõteriistu. Kuid väljundimõõteriistade töötamistäpsuse suurendamise põhisuunaks on samuti kompensatsiooniprintsiibi kasutamine.

Ühe sellise väljundimõõteriista, kus kasutatakse jõukompensatsiooni, põhimõtteskeem on näidatud joonisel 4-31.

Mõõteriista võrdluselemendiks on kang *1*, mille ühele



Joon. 4-31. Jõukompensatsiooni printsiibil töötav automaatmõõteriist:
1 — võrdluskang; *2* — elektromagneti blokk; *3* — asenditajur; *4* — generaator; *5* — võimendi; *6* — tasakaalustusmootor; *7* — tasakaalustusvedru

otsale mõjuv jõud saadakse kalibreeritud vedrult *7*, teisele otsale mõjuv jõud aga elektromagnetilt *2*, mida toidetakse mõõtemuunduri väljundivooluga. Kangi tasakaaluasendi määrab täpne asenditajur *3*, mis koosneb kahest ferriitrõngast, millest üks asub kangil, teine aga paigalseisval alusel. Kangi nihke korral muutub asenditajuris magnetväli südamikevahelise õhupilu muutumise tõttu. Selle tulemusena tekib võimendi väljundis vool, mis sõltub asenditajuri õhupilu suurusest ja kogu süsteemi võimendusest. Väljundivooluga toidetakse tasakaalustussüsteemi elektromagnetit *6*, mis omakorda muudab tasakaalustusvedru jõudu tasakaalu taastamise suunas, ühtlasi aga liigutab mõõteriista osutit (või registreerimisseadist). Tasakaalumomendil on elektromagneti jõud (mis sõltub mõõdetavast voolust) täpselt tasakaalustatud vedru jõuga. Vaadeldav süsteem on oma tööpõhimõttelt staatiline tasakaalustussüsteem ja sel on staatiline viga. Seda viga saab aga küllaldase võimenduse valikuga teha tühiselt väikeseks.

R e o k o r d i d. Kõige sagedamini on automaatmõõteriistades kasutusel rõngasreokordid. Nende põhiosaks on kaks isoleeritud vaskrõngastele mähitud manganiintraadist spiraali. Üks neist on tööspiraal, teine (lühistatud) liugkontakti ühendamiseks. Liugkontakt valmistatakse tavaliselt hõbeda (90%) ja vase (10%) sulamist silindrilise rullina, mis pöörleb ümber oma telje. Agressiivses keskkonnas paigutatakse kogu reokord hästi puhastatud trafoõlisse. Suure korrosioonikindlusega on volfram-pallaadiumi sulamist reokorditraat. Sellest sulamist reokordid töötavad hästi ka agressiivses keskkonnas ja on manganiinreokordidest kulumiskindlamad. Liugkontakt valmistatakse neil tavaliselt

kulla, hõbeda ja vase sulamist, kusjuures elektrilise ühenduse saamiseks kasutatakse reokordi asemel volfram-pallaadiumist varrast. Reokordi stabiilseks töötamiseks on vajalik teatav minimaalne kontaktsurve: volfram-pallaadium-reokordil on see 0,05—0,15 N, manganiinspiraalil aga vähemalt 0,2—0,3 N.

Paljupositsioonilised andurite ümberlülitid. Andurite ümberlülitid peavad võimaldama väga madalate pingete (mõned mikrovoldid) kommuteerimist ning omama madalat kontakti üleminekutakistust (0,01 Ω ja vähemgi). Nendele nõuetele vastavad hõbedast, kullast ja plaatina-iriidiumi sulamist valmistatud kontaktidega ümberlülitid.

Töökindluse tõstmiseks ja agressiivse keskkonna eest kaitseks paigutatakse lülitid tavaliselt õlisse. Seejuures peab olema tagatud küllaldane kontaktsurve (0,2—0,5 N enamiku materjalide korral).

Registreerimissõlmed. Registreerimisseadised on automaatmõõteriistades tasakaalustusmootoriga ühendatud enamasti trossidega. Kõige sagedamini on kodumaistes registreeritavates automaatmõõteriistades kasutusel sule ja tindireservuaariga registreerimisseadised. Need paigutatakse kergele duralumiiniumvankrikesele, mis tugilaagri vahendusel libiseb piki suunamislatte. Sulena kasutatakse enamasti plaatina-iriidiumist otsikuga torukapillaari siseläbimõõduga 0,15 mm. Mõningates konstruktsioonides, eriti kitsa diagrammilindi korral, on kasutusel plastmassist kapillaartoru ja tindireservuaar.

Paljupunktilistes mõõteriistades toimub mõõtetulemuste registreerimine tavaliselt trükkimisega, millega registreerimislindile kantakse punktid või ringikesed. Selguseks trükitakse reeglina iga punkti juurde ka vastava anduri tinglik järjekorranumber. Tihti trükitakse ka erinevad punktid erivärviliselt (kuni 6 värviga). Trükkimisseadise kõik elemendid paigutatakse samuti kergele alusvankrikesele, mida trossülekandega liigutatakse piki juhtlatte. Seejuures valitakse trükkimismoment automaatselt pärast mõõtelülituse tasakaalustamist. Vastavat seadist juhitakse diagrammlindi ajamiks kasutatava sünkroonmootoriga.

Diagrammi ajam. Ketasdiagrammiga mõõteriistade puhul on ajamiks sünkroonmootor, mis reduktori kaudu pöörab diagrammilinti kiirusega üks täispööre

ööpäevas. Seejuures on diagrammiketaste tavaline läbimõõt 200...400 mm.

Lintdiagrammide tavaline laius on 100—300 mm (registreerimiseks kasutatav osa). Lindi liikumiskiirus on mitmesugustel mõõteriistadel erinev ja kõigub tavaliselt 20 m/h —30 m/h (tööstuslikel registreerivatel riistadel ei ületa maksimaalne kiirus reeglina 10 m/h).

Diagrammilindi kiiruse muutmine toimub tavaliselt vahetavate hammasratastega reduktori abil, mõnikord ka hoovaga juhitava käigukasti vahendusel.

Kui on vaja, et diagrammilindi liikumiskiirus oleks sõltumatu toitevõrgu sageduse kõikumistest, siis varustatakse mõõteriist spetsiaalse kiirusregulaatoriga. See sisaldab võimsa käivikvedru, mis sünkroonmootoriga friktsioonülekande kaudu perioodiliselt üles keeratakse. Sellise mehhanismi liikumisvaru ulatub tavaliselt kuni 2 tunnini.

N u l l i n d i k a a t o r i d. Nullorgani põhiülesanne seisneb mõõtelülituse väljundipinge (mis iseloomustab tasakaalu puudumist) võimendamises ja sellega reversiivmootori tüürimises. Kogu mõõteriista tundlikkus, täpsus ja muudki omadused sõltuvad suurel määral nullorgani omadustest.

Kõige sagedamini kasutatakse nullorganeina elektronlampvõimendeid. Nende tähtsamad iseärasused on järgmised:

a) suur tundlikkus, mis on tingitud vajadusest juba väikeste hälbesignaalide korral anda mootorile küllaldane tüürpinge sisemise hõõrdetakistuse ületamiseks;

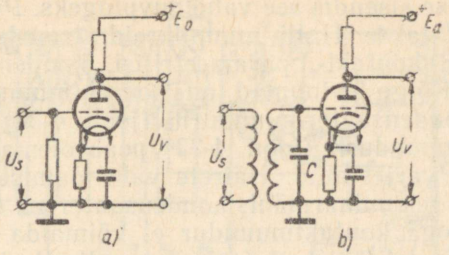
b) võimendi sisendisignaalid muutuvad mõnest mikrovoldist kuni mõne voldini, mis võiks põhjustada märgatavate moonutuste tekkimise;

c) võimendi sisenditakistus võib sõltuvalt kasutatava anduri liigist olla mõnest sajast oomist mõne miljoni megaoomini.

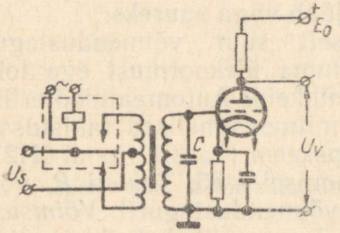
Sõltumata võimendi liigist, koosneb nullindikaator reeglina sisendisõlmest, pingevõimendist, võimsusvõimendist ja toiteallikast.

Kõige enam levinud vahelduvvooluvõimendite sisendiosa skeemid on toodud joonisel 4-32. Skeemi joonisel 4-32, *a* võib kasutada siis, kui sisendiahelais on galvaaniline sidestus lubatav ja vajalik tundlikkus pole suur. Kõige sagedamini kasutatakse skeemi joonisel 4-32, *b*.

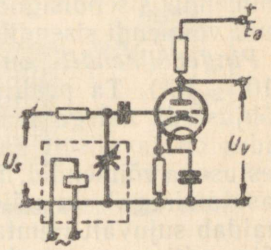
Kui mõõtelülituse väljundisignaaliks on alalispinge, siis



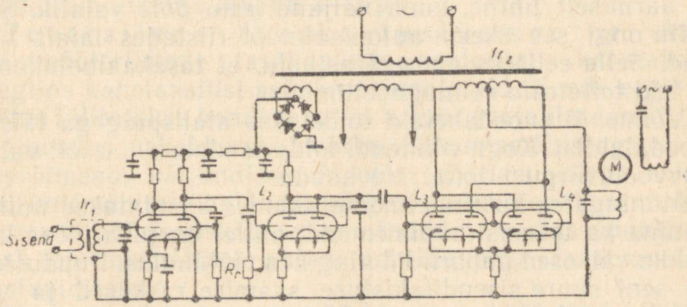
Joon. 4-32. Vahelduvpingevõimendite sisendiahelate tüüpskeemid:
a) trafota; *b)* trafosisendusega



Joon. 4-33. Kontaktmuunduriga võimendi sisendiosa



Joon. 4-34. Kondensaatormuunduriga võimendi sisendiosa



Joon. 4-35. Automaatmõõteriista võimendi põhimõtteskeem

muundatakse sisendis see vahelduvpingeks. Pingemuundureiks kasutatakse Halli muundureid, transistor-, diood-, magnetilisi, kontakt-, parameetrilisi, kondensaatormuundureid jt. Kõige levinumad on kontaktmuundurid (joon. 4-33) ja kondensaatormuundurid (joon. 4-34).

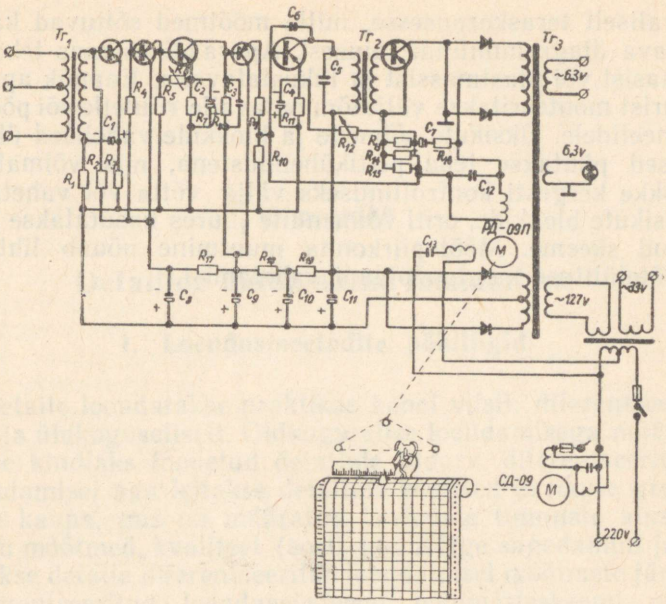
Kontaktmuunduril (joon. 4-33) peab olema sisenditrafo väga hästi varjestatud. Häirete vähendamiseks häälestatakse trafo sekundaarmähis kondensaatoriga C resonantsi. Sisenditrafoga kontaktmuundur ei võimalda saada suurt võimendi sisenditakistust (see on tavaliselt piires 500 Ω — — 100 kΩ).

Suure sisenditakistuse korral (on vajalik mõningate andurite liikide puhul) kasutatakse kondensaatormuundurit (nn. dünaamilist kondensaatorit), mille mahtuvust muudetakse perioodiliselt eriseadmega. Selle tulemusena tekib võimendis sisendisignaaliga võrdeline vahelduvkomponent, kuid võimendi sisenditakistus jääb väga suureks.

Pingevõimendil on tavaliselt suur võimendustegur ($10^4 — 10^6$). Ta peab hästi taluma ülekoormust ega tohi põhjustada märgatavaid faasinihkeid. Automaatmõõteriistades on tavaliselt kasutusel mitmeastmelised takistussidestusega võimendid, mille tüüpskeem (kaksiktrioodi 6Н2П kasutamisega) on näidatud joonisel 4-35. Takisti R_r võimaldab sujuvalt muuta üldist võimendustegurit. *Võimsusvõimendil* on paralleel-balanss-skeem, mille kaksiktrioodide anoodahelaid toidetakse vahelduvpingega. Kuna pinge lampide L_3 ja L_4 anoodidel on vastufaasis, siis sisendisignaal suurendab ühe lampidepaari anoodvoolu ja vähendab teise oma ning väljundi mootoris tekib pöördemomenti põhjustav kasulik vahelduvkomponent. Selline skeem on stabiilne ja äärmiselt lihtne, kuna väljunditrafo pole vajalik. Seetõttu ongi see skeem automaatmõõteriistades laialt levinud. Selle eeliseks on veel asjaolu, et tasakaaluolukorras ei teki toitetrafo eelmagneetimist.

Võimendi anoodahelaid toidetakse alalispingega täisperioodalaldist. Kogu võimendi toide saadakse otseselt vahelduvvooluvõrgust toitetrafo kaudu.

Mõningates automaatmõõteriistades kasutatakse nullorganina ka transistorvõimendeid, millel on pika tööea kõrval ka väikesed gabariidid ning hea töökindlus. Puudusteks on seni suure sisenditakistuse saamise raskused ja võimendi omaduste suurem sõltuvus keskkonna temperatuurist.



Joon. 4-36. Automaatmõõteriista transistorvõimendi skeem

Tüüpiline transistorvõimendi skeem, mis sobib kasutamiseks nii alalisvoolu kui ka vahelduvvoolu mõõtelülitusega mõõteriistades, on näidatud joonisel 4-36. Võimendi on kuueastmeline. Selle lõppastmes kasutatakse transistori П4Д, eelastmes aga П13А (või teisi transistore). Võimendi tundlikkuse lävi on 2—3 μV.

Reversiivne tasakaalustusmootor. Automaatmõõteriistade tasakaalustusmootoritena kasutatakse reeglina kahefaasilisi asünkroonmootoreid. Nende ergutusmähis lülitatakse kondensaatori kaudu (vajaliku faasinihke saamiseks) vahelduvvooluvõrku, tüürimismähis aga võimsusvõimendi väljundisse. Mootori pöörlemiskiirus sõltub tüürimismähisele antavast pingest ja mootori koormusest. Mootori pöörlemiskiiruse muutmiseks vastassuunaliseks peab tüürimismähisele antava vahelduvpinge faasi muutma vastupidiseks.

Konstruktsiooni põhijooned. Kaitseks väliste magnetväljade eest monteeritakse automaatmõõteriistad

tavaliselt teraskorpusesse, mille mõõtmed sõltuvad kasutatava diagrammilindi laiusest. Aparaadi esikaas tehakse klaasist või plastmassist ja lukustatavana. Enamik aparatuurist monteeritakse väljatõmmatavaile riiuleile või pöördpaneelidele. Üksikute sõlmede ja blokkide vahelised ühendused püütakse teha pistikühendustena, mis võimaldab blokke kergesti kontrollimiseks välja võtta või vahetada. Üksikute blokkide, eriti võimendite juures kasutatakse trükitud skeeme. Mõõtepiirkonna muutmine nõuab lihtsalt mõõtelülituse montaažplaadi vahetamist.

V peatükk

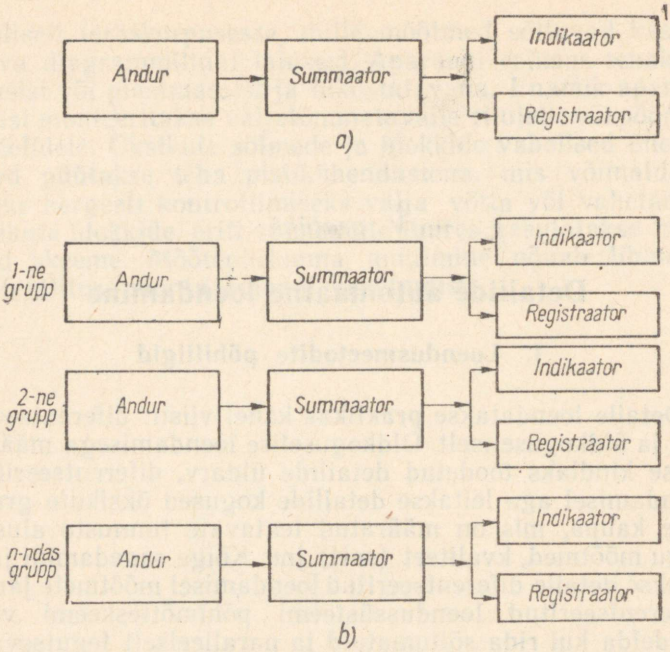
Detailide automaatne loendamine

1. Loendusmeetodite põhiliigid

Detaile loendatakse praktikas kahel viisil: diferentseeritult ja üldkoguseliselt. Üldkoguselise loendamisega määratakse kindlaks toodetud detailide üldarv, diferentseeritud loendamisel aga leitakse detailide kogused üksikute gruppide kaupa, mis on määratud teatavate tunnuste alusel, nagu mõõtmed, kvaliteet (sort) jne. Kõige sagedamini jaotatakse detaile diferentseeritud loendamisel mõõtmete järgi. Diferentseeritud loendussüsteemi põhimõtteskeemi võib vaadelda kui rida sõltumatuid ja paralleelselt tegutsevaid üldkoguselisi loendussüsteeme. Joonisel 5-1, *a* ja *b* on toodud mõlema loendusliigi blokkskeemid, mis koosnevad järgmistest põhisõlmedest: 1) andur, 2) summaator; 3) indikaator; 4) registraator.

Enamikul juhtudel on andur iseseisev konstruktiivne ja funktsionaalne sõlm, samal ajal kui registraatorit on tihti võimatu eraldada summaatorist (nii konstruktiivses kui ka funktsionaalses mõttes). Kui tavaliselt registraator fikseerib loendustulemuse nii näiduna kui ka kirjaliku dokumendina, siis mõnel juhul võib olla ette nähtud vaid üks nimetatud võimalustest.

Anduri (tajuri) ülesandeks on informatsiooni saamine loendatava detaili kohta ning vastava signaali tekitamine. Selleks signaaliks on reeglina konstantse amplituudiga üksikimpulss, mille omadused ei sõltu detaili iseloomust ja mis võimaldab fikseerida vaid detaili olemasolu või puudumist («ja-ei»-printsiip). Anduri niisugune töörežiim, kus ta väljundisignaal muutub hüppeliselt (katkeliselt), kannab releerežiimi ehk positsioonrežiimi nimetust. Signaali võimalike režiimide (positsioonide) normaalne arv on kaks



Joon. 5-1. Automaatsete loendussüsteemide blokkskeemid

(«ja-ei»). Selline andur on otseselt kasutatav üldkoguseliseks loendamiseks.

Diferentseeritud loendamine vajab tingimata mitut (vähemalt kahte) andurit, mis samuti töötavad kahepositsioonilises režiimis, kuid millest igaüks rakendub vaid teatava detaili tunnuse alusel (näit. teatava paksuse juures). Andurite hulk peab seejuures vastama diferentseeritud loendusgruppide arvule.

Harvemini kasutatakse diferentseeritud loendamiseks mitmepositsioonilisi andureid, millelt saadaval signaalil võib lisaks maksimaal- ja nullväärtusele olla veel rida vahepealseid diskreetseid väärtusi. Selle anduri positsioonide arv peab ühe võrra ületama loendusgruppide hulga: üks positsioon (tavaliselt nullväärtus) peab vastama loendatava detaili puudumisele.

2. Loendussüsteemide andurid

Automaatsetes loendussüsteemides on kasutusel järgmised põhilised andurite liigid:

1) elektrokontaktandurid, mille kontaktid on suletud või avatud sõltuvalt kontrollitava detaili olemasolust või puudumisest;

2) induktiivsed, mille töötamine põhineb pooli induktiivsuse muutumisel loendatava detaili toimel;

3) mahtuvuslikud, kus loendatav detail põhjustab kondensaatori mahtuvuse muutumise;

4) piesoelektrilised, kus anduri pindadel tekivad loendatava detaili poolt esilekutsutud deformatsioonide tulemusena elektrilaengud;

5) fotoelektrilised, kus loendatav detail põhjustab valgustundlikule tajurile langeva valgusvoo muutumise ja sellega ka tajuri elektritakistuse muutumise;

6) radioaktiivsed, mille töötamine põhineb tajurile langeva radioaktiivse kiirguse intensiivsuse muutumisel analoogiliselt fotoelektrilisele andurile.

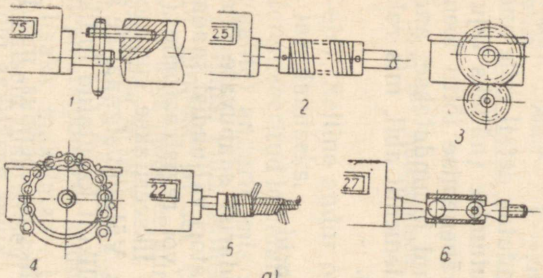
Rea andurite juures kutsub loendatav detail esile anduri signaali intensiivsuse pideva muutumise (näiteks tajurile langeva valgushulga astmelise vähenemise tõttu loendatava detaili liikumisel). Sel juhul muundatakse anduri pidev signaal hüppeliseks relee-elemendi abil, mis rakendub teatava soovitud nivoo juures.

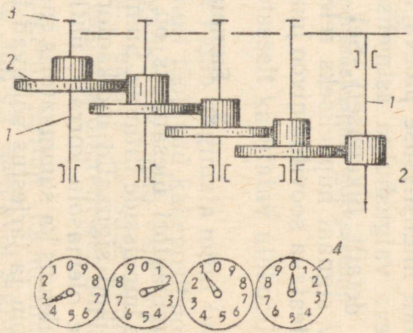
3. Summaatorid

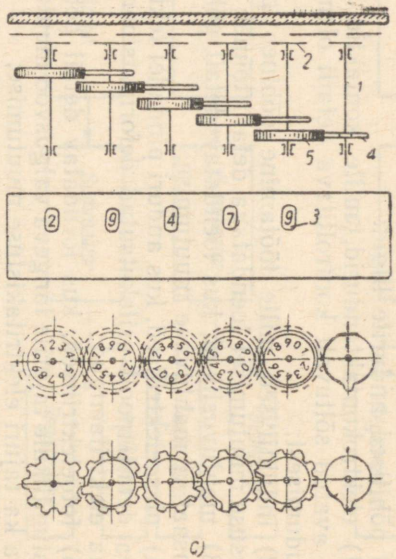
Summaatori ülesandeks on andurist saabuvate ühesuguste impulsside liitmine. Summaatori väljundist saadakse vajalikud signaalid indikaatorile või registraatorile (viimaste olemasolu korral), ühtlasi fikseeritakse summeerimistulemus ka summaatoris endas. Väljundisignaalide arv, iseloom ja järjestus sõltuvad täielikult kasutatud indikaatorite ja registraatorite liigist.

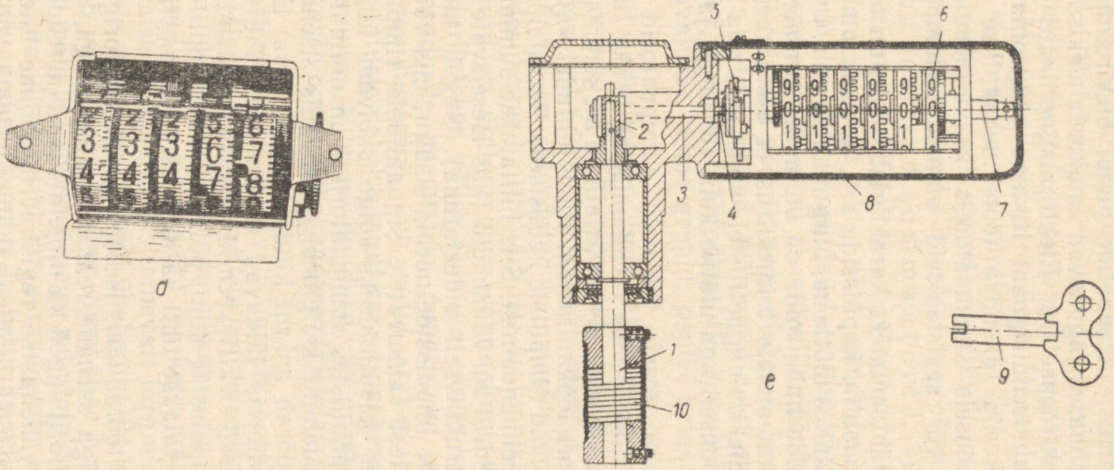
Summaatori üheks põhielemendiks on loendur, mis faktiliselt summeeribki (integreerib), kuigi praktikas mõistetakse loendurite all sageli laiemalt ka sõlmi, mis lisaks tegelikule loendurile sisaldavad indikaatoreid, registraatoreid, üksikjuhtudel isegi andureid.

Automaatsetes loendussüsteemides kasutatakse kahte


1
2
3
4
5
6
a)


3
2
1
1
2
4
b)


2
1
5
4
2 9 4 7 9 3
c)



Joon. 5-2. Mehaanilised loendurid:

a — pöörete loendurite võllide sidurdusviisid: *1* — sõrmsidurdus; *2* — vedrusidurdus; *3* — hammassidurdus; *4* — kettsidurdus; *5* — elastne võll; *6* — šarniirmuhv; *b* — osutiloendur; *c* — ketasloendur; *d* — rull-loenduri vaade; *e* — pöörete loenduri skeem: *1* — ajamivõll; *2* — tigureduktor; *3* — võll; *4* — ekstsentriline sõrm; *5* — käivikmehhanism; *6* — loendusrullid; *7* — rullide telg; *8* — korpus; *9* — võti; *10* — vedrumuhv

liiki summaatoreid: mehaaniliste lähtesignaalide puhul mehaanilisi, elektriliste signaalide puhul elektroimpulss-summaatoreid. Viimased jagunevad omakorda elektromagnetilisteks ja elektroonseteks. Elektromagnetilistes summaatorites paneb sisendisignaal liikuma elektromagneti ankru, mis omakorda rakendab tööle mehaanilise summaatori. Elektroonseis summaatoreis kasutatakse enamasti trigereid või spetsiaalseid summaatorlampe — dekatrone.

Summaatorite tähtsamateks karakteristikuteks on toimekiirus, s. t. maksimaalne impulsside arv, mida summaator on võimeline ajaühikus töötlema, ning mahtuvus, s. t. maksimaalne impulsside hulk, mida on võimalik summeerida. Mehaaniliste summaatorite toimekiirus ei ületa reeglina 1000 imp/min. Elektromagnetilistel võib see olla kuni 100 imp/s, elektroonseil aga ulatub kuni 10^6 imp/s ja rohkem.

Normaalses tööprotsessis täidavad summaatorid oma põhifunktsioonile (impulsside loendamisele) lisaks tavaliselt ka rida abiülesandeid, mis on vajalikud nii summaatori kui ka registraatori töökindluseks. Real juhtudel vajavad summaatorit läbivad impulsid edasiseks kasutamiseks muundamist või võimendamist. Siis lülitatakse summaatorite juurde muundurid või võimendid (kas iseseisvate blokkidena või konstruktiivselt sidestatuna). Sageli kuulub summaatori juurde impulsside normalisaator, mis võimaldab anda anduritest saabuvatele signaalidele (impulssidele) summaatoris kasutamiseks kõige sobivam kuju ja intensiivsus. Mehaanilistes summaatorites on normalisaatoriks kõige sagedamini kangmehhanism, mis sisendiimpulsside toimel pöörab ankrut kindla nurga võrra. Elektroimpulss-summaatoreis täidavad normalisaatori ülesannet tavaliselt sellised elektriskeemid, mis võimaldavad ühtlustada anduri impulsside kuju, polaarsust ja amplituudi. Neid skeeme nimetatakse tihti ka impulsside formeerimislülitusteks.

Kui summaator töötab koos iseseisva registraatoriga, on tema ülesanne väga sarnane reduktori ülesandega, mille järgi siis summaatorit sageli ka nimetatakse. Nn. reduktor-summaator peab vähendama registreerimissõlme tulevate impulsside hulka, s. o. väljundis peab impulsside hulk olema K korda väiksem sisendisse saabuvate impulsside hulgast. Suurust K nimetatakse seejuures impulsside redutseerimis-

teguriks. Reduktorsummaatorit kasutatakse reeglina loenduri üldise loendusmahtuvuse, samuti toimekiiruse suurendamiseks. Kui loendur varustada reduktorsummaatoriga, siis tuleb loendustulemuse täpseks registreerimiseks kasutusele võtta jäägiindikaator. Selle ülesandeid võib täita ka mingi summaatori koostiselement. See peab fikseerima reduktorsummaatori sisendisse antud impulsside hulga, mis reduktori väljundis impulssi veel ei tekita.

Mehaanilised summaatorid. Tööstuslikult toodetavatel mehaanilistel summaatoritel on reeglina registreerimismehhanism ning neid nimetatakse loenduriteks. Nad võimaldavad kümnendsüsteemilist loendamist, kusjuures sisendisuuruseks on sisendivõlli pöördumine kas pidevalt või piiratud pöördenurga ulatuses. Loendurite ajamid on väga mitmesugused. Mõningad neist on kujutatud joonisel 5-2, *a*. Üldise tööpõhimõtte seisukohalt liigitatakse neid tavaliselt kolme gruppi: osuti-, ketas- ja rull-loendurid.

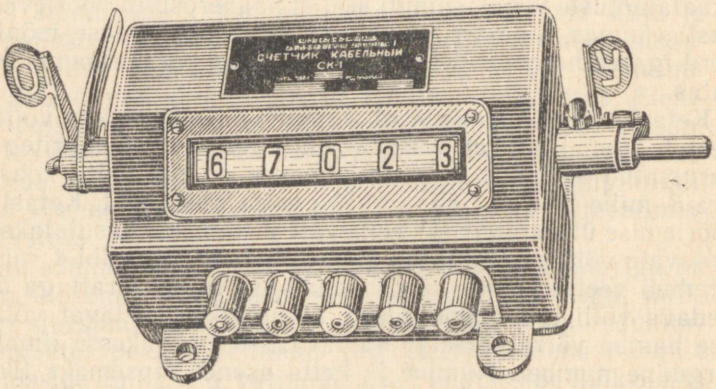
Osutiloenduritel on lihtne ehitus ning nad vajavad töötamiseks püsivat pöördemomenti. Loenduri skeem on näidatud joonisel 5-2, *b*. See koosneb reast paralleelsetest võllidest *1*, mis on sidurdatud hammasülekannetega *2*, mille ülekandesuhe on 1 : 10. Võllidele on kinnitatud ka osutid *3*. Igal osutil on ühtlane ümmargune skaala *4*. Esimese ratta võll sidurdatakse välise ajamiga varem kirjeldatud viisil. Osutiloendurite peamisteks puudusteks on pöörete arvu ebamugav lugemine, kui osutid asetsevad nummerdatud skaalajaotuste vahel, samuti see, et naaberosutid pöörlevad vastassuunas. Viimase puuduse vältimiseks viiakse mõnikord igasse hammasülekandesse täiendav parasiithammasratas.

Ketasloendurid koosnevad samuti paralleelsetest võllidest *1* (joon. 5-2, *c*), millele on kinnitatud numbritega varustatud kettad *2*. Loenduri kaanes on iga ketta kohal ava *3*, mille läbi on näha üht iga ketta numbreist. Ketaste pöörlemise ülekandmiseks eelnevalt järgmisele kasutatakse vedavale võllile paigutatud ühehambalist ketasseibi *4*, mis hambub veetava võlli kümnehambalise hammasrattaga *5*. Vedava võlli iga täispöördega nihutatakse veetavat võlli ühe hamba võrra edasi ja vastava ketta aknakesse ilmub järgmine number. Numbri ja ketta asendi täpsemaks fikseerimiseks on aknakese kohal eriline lisaabinõu. Ketasloendur võib olla varustatud ka lisasõlmega nullasendi

taastamiseks. Ketasloendurite põhilisteks puudusteks on pöördemomendi ebaühtlus, keerukus ja suured gabariidid.

Rull-loendurid (joon. 5-2, *d*) koosnevad paljudest ühisele võllile vabalt paigutatud rullidest, mille välispinnale on ühtlaselt kantud numbrid 0-st 9-ni. Esimene rull pannakse liikuma kas sellele võllile kinnitatud hammasratta või mõne muu analoogilise mehhanismi abil. Üleminekul numbrilt 9 numbrile 0 rull pöördub ning veab abihammasratta vahendusel järgmise rulli edasi parajasti $^1/_{10}$ võrra täispöördest, nii et järgmine number ilmub loenduri aknakesse. Analoogiliselt on sidestatud ka järgmised rullid. Rull-loendurid on sageli varustatud nupu, kangi jms. abil käivitatava nullasendi taastamise abinõuga. Rull-loenduri peamisteks eelisteks on kompaktsus ja tulemuse hea loetavus. Puuduseks on töölerakendamiseks vajaliku jõu ebaühtlus.

Joonisel 5-3 on tööstuslikult toodetava loenduri CK-1 välisvaade. See on viiekohalise rull-tüüpi mehhanismiga loendur. Sisendivõlli pööramisel mitmesuguste täiendavate ajamitega saab loendurit rakendada väga mitmetel juhtudel, nagu detailide loendamisel konveieril, kaabli pikkuse mõõtmisel, mähiste keerdude arvu määramisel jm. Loendurit saab kasutada ka tööpingi või -seadme automaatseks väljalülitamiseks pärast ettenähtud detailidehulga töötlemist (vahemikus 1—99999). Soovitud arvu eelnevaks sisseseadmiseks on ette nähtud parempoolne käepide *Y* ning viis nuppu esiplaanil. Vasak käepide *0* on nullasendi taas-



Joon. 5-3. Rull-loendur CK-1 («kaabliloendur»)

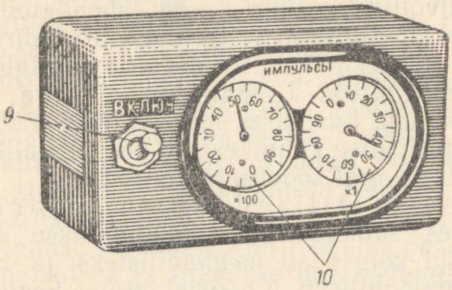
tamiseks. Loenduri normaalne toimekiirus ulatub kuni 1000 sisendivõlli pöördeni minutis.

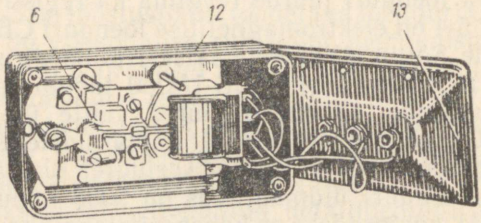
Joonisel 5-2, *e* on võlli pöörete arvu loenduri skeem. Ülekanne sisendivõllilt loendurisse on lahendatud reduktori abil, mille ülekandesuhe on 1 : 10. Loenduri üldine loendusmahtuvus on 10 milj. pööret. Pärast seda muutub näit automaatselt uuesti nulliks. Loendur on ajamiga ühendatav vedrumuhvi kaudu, kusjuures loendur võib töötada mõlemasuunaliselt. Erilise kangikesega on võimalik taastada näidu nullasendit igal soovitud momendil.

Elektromagnetilised summaatorid. Elektromagnetilistes summaatorites muundatakse elektrilised sisendiimpulsid kõigepealt mehaanilisteks ja edasi summeeritakse analoogiliselt ülalkirjeldatule. Seejuures kuulub vastava loenduri juurde reeglina ka registraator.

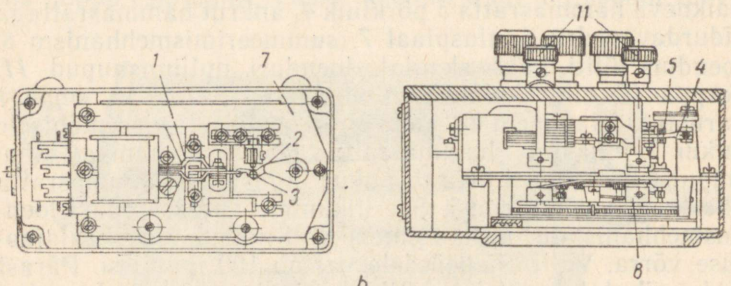
Joonisel 5-4 on elektromagnetilise loenduri СБ-1М skeem ja üldvaade. Sõltuvalt maksimaalsest toimekiirusest on sellel kaks modifikatsiooni: СБ-1М/50 töötab normaalselt sisendiimpulsside sageduse juures mitte üle 50 imp/s, СБ-1М/100 aga reageerib veel impulssidele sagedusega kuni 100 imp/s. Impulsid peavad seejuures olema ristkülikukujulised. Loenduri üldmahtuvus on 9999 impulssi. Loenduri СБ-1М põhiosadeks on kahepositsiooniline (ühepoolse häälestusega) relee *1*, selle liikuva osaga telje *3* kaudu ühendatud ankur *2*, summeerimismehhanismi sisendivõllil paikneva hammasratta *5* põrklink *4*, ankrut hammasrattaga sidurdav vedru *6*, alusplaat *7*, summeerimismehhanism *8*, loenduri lüliti, kaks skaalat, loenduri nullimisnupud *11*, korpus *12* ning kolme klemmiga («+», «—» ja «maa») varustatud tagasein *13*. Impulsi saabumisel relee mähisele ankur vinnastub hammasratta järgmise hamba taha. Impulsi lakkamisel pöörab ankur tagastudes hammasratta ühe hamba võrra edasi. See liikumine antakse edasi loendusmehhanismile, mille esimene võll nihkub ühe skaalajaotuse võrra. Võlli täispöördele vastab 100 impulssi. Pärast seda nihutatakse teist võlli ühe jaotuse võrra. Loenduri nullasendi taastamiseks on nupud, millega saab skaalasid pöörata nullmärgi ühtimiseni võlli osuti asendiga.

Joonisel 5-5 on näidatud elektromagnetiline loendur СИ-3, mille normaalseks toimekiiruseks on 60 imp/min. Selle alusele *1* on paigutatud loendusmehhanism ja nullimisseadis. Aluse all on elektromagnet *2* koos klemmliistuga *3*. Impulsi toimel tõmbab elektromagnet võllile *5* kin-



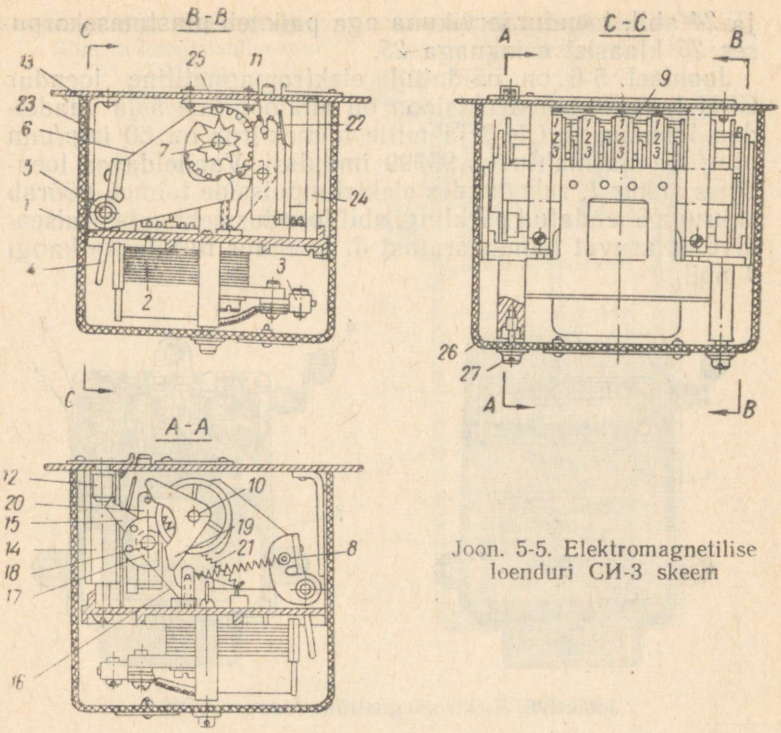


a



b

Joon. 5-4. Elektromagnetiline loendur СБ-1М:
a — üldvaade; *b* — skeem

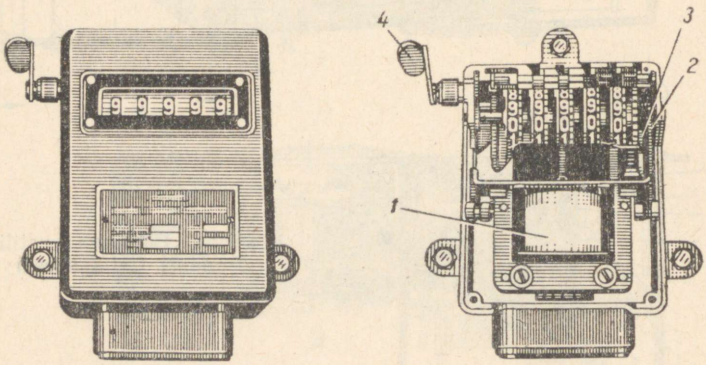


Joon. 5-5. Elektromagnetilise loenduri СИ-3 skeem

nitatud ankrut *4* ja pöörab põrklinki *6*. Viimane pöörab omakorda loendusmehhanismi sisendivõlli hammasratast *7* ühe hamba võrra. Impulsi lakkamisel tagastub ankur vedru *8* toimel. Loendusmehhanism *9* koosneb viiest rullist, mis paiknevad vabalt võllil *10*. Liikumine kantakse ühelt rullilt teisele üle hammasratta *11* kaudu. Nullimisnupule *12* vajutamisel surutakse alla nullimiskang *15*, mis koos nukkmehhanismiga *17* pöördub telje *18* suhtes umbes 70° võrra. Seejuures eemaldab nukkmehhanismiga sidestatud kang *19* hammasrattad rullidest ning kõik rullid pööratakse mehhanismi *16* abil nullasendisse. Hiljem tagastuvad hammasrattad hambumisse vedru *21* abil. Selle juures takistab lehtvedru *22* hammasrataste juhuslikku pöördumist ning kindlustab kindla hambumise hammasrataste tagastumisel. Loenduri esiplaat *13* on kinnitatud alusele tugiliistude *23*

ja *24* abil, loendur tervikuna aga paikneb plastmasskorpuses *26* klaasist esiaknaga *25*.

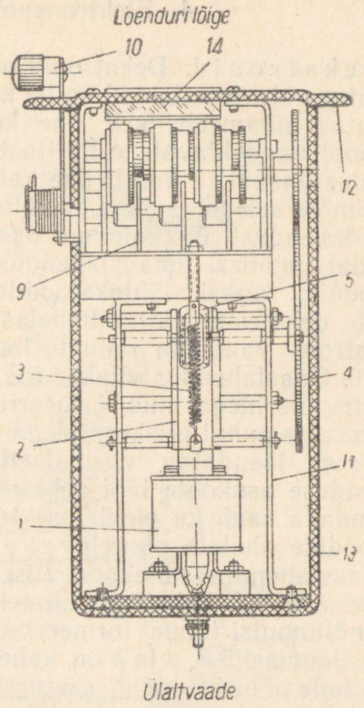
Joonisel 5-6 on näidatud elektromagnetiline loendur СЭИ-1, mille konstruktsioon on analoogiline äsja vaadeldud loenduriga СИ-3 ja mille toimekiirus on 60 imp/min ning loendusmahtuvus 99999 impulssi. Vaadeldavas loenduris ankur *1*, rakendudes elektriimpulsside toimel, pöörab ankruga ühendatud põrklingi abil loendusmehhanismi sisendivõllil asuvat hammasratast *3*. Loendur nullitakse kangi *4* abil.

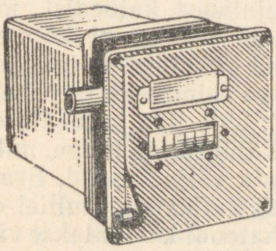


Joon. 5-6. Elektromagnetiline loendur СЭИ-1

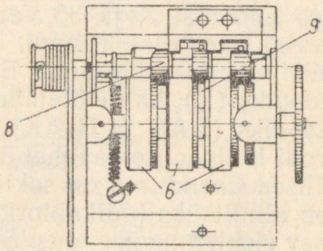
Joonisel 5-7 on elektromagnetilise diferentsiaalloenduri СИД-1 välisvaade ja skeem. Antud loendur on kasutatav kahe erineva impulssideseeria vahe määramiseks maksimaalse loendusmahuga 999. Loenduri põhiosadeks on kaks elektromagnetit põrklinkmehhanismidega, diferentsiaal, rull-tüüpi loendusmehhanism ja korpus. Üks elektromagnetitest *1* rakendub positiivsetest elektriimpulssidest, teine negatiivsetest. Ankrute normaalasendid taastatakse spiraalvedru *3* abil. Mõlema ankru liikumine kantakse põrklinkmehhanismi kaudu üle diferentsiaalile, mille väljundivõll pöörab hammasrattapaari *4* kaudu loendusmehhanismi ühes või vastupidises suunas. Vastavalt sellele loenduri näit suureneb või väheneb. Loendusmehhanism koosneb kolmest välise hambumisega sidestatud loendusrullist *6*. Vahehammasrattad *8* on teljel vabalt. Mehhanism nullitakse nullimishoova *10* abil, millega vahehammasrattad lahuta-

Joon. 5-7. Elektromagnetiline diferentsiaalloendur СИД-1:
a — üldvaade; *b* — skeem





a)



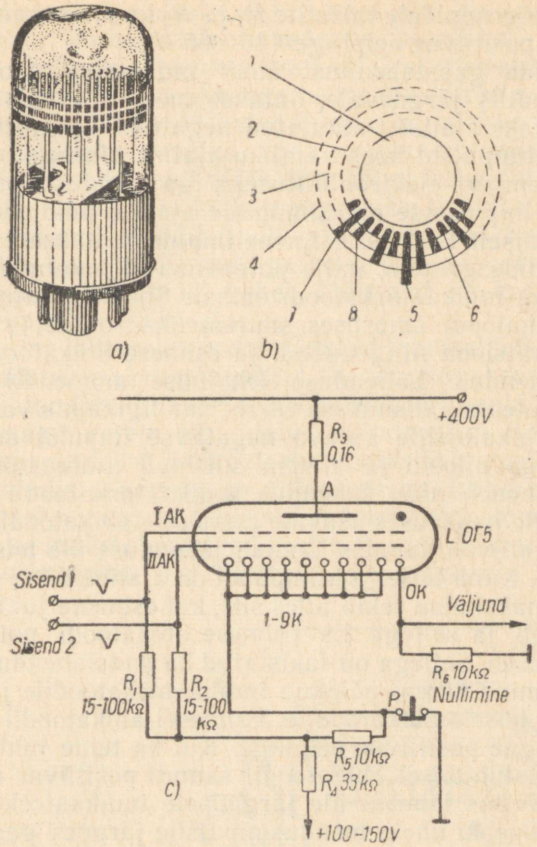
b)

takse loendusrullidest ja viimased pööratakse kõik nullasendisse. Kogu loendur tervikuna asub metallkorpuses *13*, mille kaanes *12* on lugemi saamiseks orgaanilise klaasiga kaetud aknake *14*.

4. Elektronsummaatorid

Dekatronid. Dekatronid on paljuelektroodilised gaasitäitega elektronlambid, mille kümme külmkatoodi on paigutatud sümmeetriliselt ühe keskse ketasanoodi ümber. Allpool vaadeldavate erilülituste abil tekitatakse gaaslahendus anoodi ja ainult ühe katoodi vahel. Dekatroni tööpõhimõte seisneb selles, et välise impulsiga saab sundida gaaslahendust üle minema naaberkatoodile. Pärast kümnendat impulssi jõuab lahendus, läbinud järjekorras kõik katoodid, tagasi lähtekatoodile (nullkatood). Seejuures tekib dekatroni väljundiahelas impulss. Järelikult võib dekatroni vaadelda reduktorloendurina ülekandesuhtega 1 : 10. Gaaslahendus viiakse üle ühelt katoodilt järgnevale juhtimpulssidega, mis formeeritakse iga siseneva impulsi saabumise puhul eriskeemidega. Tulemus on kümne impulsi ulatuses loendatav visuaalselt, jälgides gaaslahenduse helenduse asukohta läbi dekatroni klaasballooni otspinna. Loendada saab ka elektrilise tunnuse alusel, kontrollides katoodide ahelate pingeid.

Gaaslahenduse ülekandeviisi põhjal liigitatakse dekatrone ühe- ja kaheimpulsilisteks, mille erinevus seisneb sisendiimpulsi toimel formeeritavate juhtimpulsside iseloomus. Joonisel 5-8, *a* ja *b* on kaheimpulsilise dekatroni ОГ-5 üldvaade ja elektroodide asetusskeem. Selline dekatron võimaldab impulsside loendamist sageduseni kuni 10 kHz. Ta koosneb anoodist *A* ja 30 vardakujulisest katoodist, mis jagunevad kümnesse gruppi. Igaühel ühe grupi kolmest katoodist on erinev ülesanne. Esimest nimetatakse indikaatorkatoodiks (К), kahte ülejäänut aga esimeseks ja teiseks abikatoodiks (I AK ja II AK). Kõik ühte liiki katoodid on dekatroni balloonis omavahel ühendatud rõnga külge, mille elektrilised ühendused on sokli kaudu välja toodud. Erandiks on ainult üks indikaatorkatood, nullkatood, millel on iseseisev elektriline ühendus. Seda katoodi kasutatakse väljundielektroodina. Dekatroni elektriline ühenduskeem on toodud joonisel 5-8, *c*. Elektroode toidetakse gaaslahenduse süttimispingest kõrgema alalispingega. Dekatroni loendusliikuks nullimiseks, s. o. lahenduse tekitamiseks enne loenduse algust anoodi ja nullkatoodi vahel, on skeemis eriline nupp *P*, mille kontakti katkestamisel tekib kõigil katoodide ja abikatoodide gruppidel kõrge positiivne potentsiaal (+100 kuni +150 V). Selle tulemusena anoodi ja nullka-



Joon. 5-8. Kaheimpulsiline dekatron ОГ-5; *a* — üldvaade; *b* — elektroodide asetusskeem:

1 — anood; *2* — indikaatorkatoodide (*1-9K*) rõngas; *3* — esimeste abikatoodide (*IAK*) rõngas; *4* — teiste abikatoodide (*IIAK*) rõngas; *5* — nullkatood (*OK*); *6* — üheksas indikaatorkatood; *7* — teised abikatoodid; *8* — esimesed abikatoodid; *c* — lülitusskeem

toodi vaheline potentsiaalide vahe osutub märksa suuremaks pingest ülejäänud katoodgruppide ja anoodi vahel, mistõttu ka gaaslahendus kontsentreerub nullkatoodile. Lahendus jääb nullkatoodile püsima ka pärast nupu *P* kontakti sulgumist. Et vältida ootamatuid ja juhuslikke lahenduse üleminekuid ühelt katoodgrupilt teisele, antakse abi-

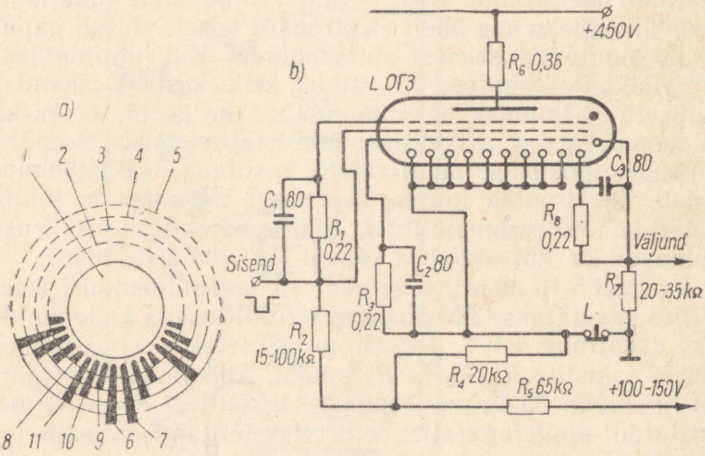
katoodide gruppidele takistite R_1 ja R_2 kaudu pingejagajalt R_4 ja R_5 positiivne eelpinge (40—60 V).

Et kanda gaaslahendust ühelt indikaatorkatoodilt (ka nullkatoodilt) järgnevale, antakse mõlemale abikatoodide grupile kaks ajaliselt nihutatud negatiivset pingeimpulssi. Need juhtimpulsid koos vajaliku ajalise nihkega formeeritakse täiendava elektronlülitusega iga loendusimpulsi saabumisel. Impulsside maksimumide ajaline nihe on seejuures keskmiselt 1—2 μs. Esimene impulss antakse esimesele abikatoodide grupile, mille potentsiaalid muutuvad negatiivsemaks indikaatorkatoodi omast. Seetõttu kujuneb esimese abikatoodi ümbruses suurem elektronide ja ioonide kontsentratsioon ning anoodi ja esimese abikatoodi vahel tekib lahendus. Lahenduse tekkimise momendil langeb anoodi potentsiaal suuruse võrra, mis ligikaudu vastab esimesele abikatoodile antava negatiivse impulsi amplituudile. Pinge anoodi ja ennem süttinud indikaatorkatoodi vahel väheneb ning lahendus indikaatorkatoodil kustub, minnes üle naabruses asuvale esimesele abikatoodile. Järgmine negatiivne impulss kannab lahenduse üle teisele abikatoodile. Kuna teisel juhtimpulsil on ajaline nihe, siis selle impulsi maksimum tekib alles siis, kui esimene juhtimpulss juba lõpeb ja sellega ka esimese abikatoodi potentsiaal uuesti tõuseb. Sellega on takistatud ka gaaslahenduse tagasipöördumine varem põlenud indikaatorkatoodile ja kindel üleminek teisele abikatoodile. Esimesel abikatoodil taastub aga esialgne positiivne eelpinge. Kui ka teine juhtimpluss lõpeb, taastub teisel abikatoodil samuti positiivne eelpinge ning lahendus lähebki üle järgmisele indikaatorkatoodile. Sellega lõpebki ühele loendusimpulsile järgnev gaaslahenduse ülekandmise protsess ühelt indikaatorkatoodilt järgnevale. Igaks selliseks üleminekuks on vajalik vastav juhtimpulsside paar, mis tekitatakse ühe välise loendusimpulsiga. Kümnes loendusimpulss kannab lahenduse uuesti üle nullkatoodile. Seejuures tekib takistil R_6 väljundiimpulss, mille sagedus on kümme korda väiksem sisendiimpulsside sagedusest. Kui muuta abikatoodidele antavate juhtimpulsside ajaline järjestus vastupidiseks, võib muuta ka lahenduse ülekandesuunda. Selle tulemuseks on loendusprotsessi reverseerimine (impulsside summa asemel saadakse vahe).

Üheimpulsilised dekatronid vajavad oma tööks ühtainust juhtimpulssi, mis lihtsustab juhtlülitust ning võimaldab

kahekordistada loenduskiirust. Samal ajal on aga selliste dekatronide konstruktsioon märksa keerukam. Joonisel 5-9, *a* on üheimpulsilise dekatroni ОГ-3 elektroodide paigutusskeem. Dekatroni maksimaalne loenduskiirus on 20 kHz. Dekatronil on kokku 40 katoodi, mis jagunevad kümneks neljakatoodiliseks grupiks. Igas grupis on indikaatorkatood ja kolm abikatoodi. Kõik ühte tüüpi katoodid on elektriliselt ühendatud ühiseks katoodgrupiks. Eraldi välisühendus on vaid nullkatoodil (indikaatorkatood) ja sama grupi kolmandal abikatoodil, mis paikneb nullkatoodi ja üheksanda indikaatorkatoodi vahel. Mõlemad on kasutatavad väljundiimpulsi saamiseks.

Dekatroni lülitusskeem on näidatud joonisel 5-9, *b*. Elektroode toidetakse alalispingega. Lahendus tuuakse nullelektroodile katoodide toiteahelasse ühendatud nupplüliti *L* abil samuti nagu varem kirjeldatud dekatronilgi. Lahenduse ülekandmiseks ühelt indikaatorkatoodilt järgnevale on vaja anda sisendisse negatiivse polaarsusega loendusimpulss. Selle toimel muutuvad esimesed ja teised abikatoodid negatiivsemaks indikaatorkatoodidest ning gaaslahendus läheb indikaatorkatoodilt üle lähimale, s. t. esimesele abikatoo-



Joon. 5-9. Üheimpulsiline dekatron ОГ-3: *a* — elektroodide asetusskeem:

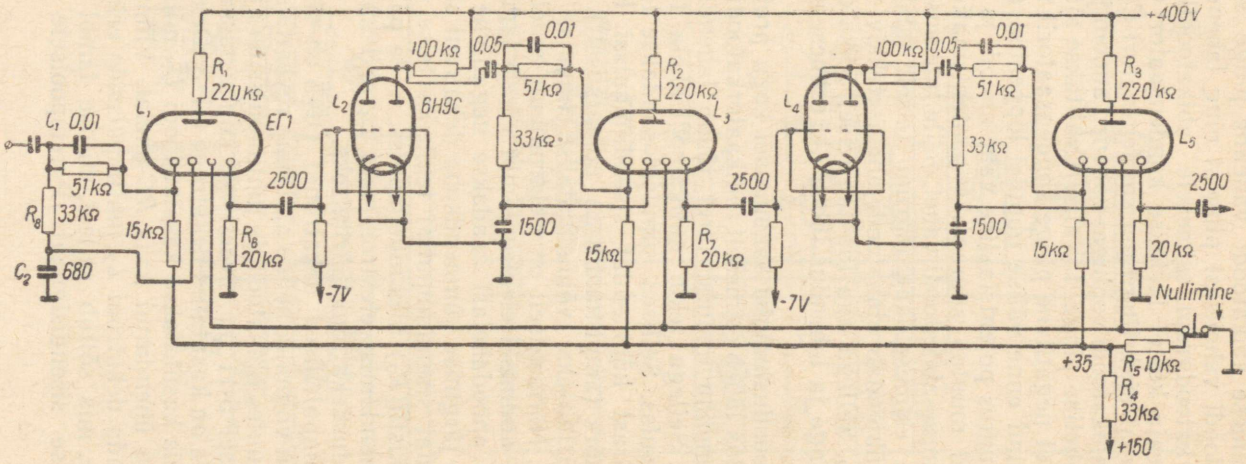
1 — anood; *2* — indikaatorkatoodide rõngas; *3* — esimeste abikatoodide rõngas; *4* — teiste abikatoodide rõngas; *5* — kolmandate abikatoodide rõngas; *6* — nullkatood; *7* — kolmas abinullkatood; *8* — esimene katood; *9* — esimene abikatood; *10* — teine abikatood; *11* — kolmas abikatood; *b* — lülitusskeem

dile. R_1C_1 ahela olemasolu tõttu ($R_1 \approx 200$ kΩ, $C_1 \approx 80$ pF) kõrgeneb esimeste abikatoodide potentsiaal kiirelt uuesti (esimese abikatoodi ahela vooluga laetakse kondensaator C_1). Selle tulemusena kõrgeneb ka anoodi potentsiaal ja kasvab pinge anoodi ning teise abikatoodi vahel. Kui see ületab süttimispinge, läheb lahendus üle teisele abikatoodile ja kaob lahendus esimesel abikatoodil. Kogu eespool kirjeldatud protsessi kestel oli rakendatud sisendiimpulss dekatroni sisendisse. Pärast sisendiimpulsi lõppemist taastub mõlemal esimesel abikatoodide grupil positiivne eelpinge ning lahendus läheb üle kolmandale abikatoodile. Selle katoodi ahelas oleva kondensaatori C_2 laadumine ($C_2 \approx 80$ pF) põhjustab analoogiliselt varem vaadeldule lahenduse ülemineku naaberindikaatorkatoodile, kusjuures lahendus kolmandal abikatoodil lakkab. Sellega lõpeb ka lahenduse ülekandmine.

Sisendiimpulsside vaheajal kondensaatorid C_1 ja C_2 tühjenevad paralleelselt ühendatud takistite R_1 ja R_3 kaudu ning elektroodidel taastuvad esialgsed seisundid.

Summeerimislülitused dekatronidel. Mida suurem on loenduskiirus, seda suuremal määral mõjutab dekatronide tööd juhtimpulsside kuju, kuna lahenduse ülemineku aeg ühelt elektroodilt teisele sõltub impulsi nivoo muutumiskiirusest abikatoodidel. Kui juhtimpulss ei ole ristkülikukujuline, on vajalik selle kestust pikendada selliselt, et impulsi maksimumilähedane kestus oleks küllaldane dekatroni töökindlaks ümberlülitumiseks. Seepärast on suure töökiiruse puhul vajalik kasutada, eriti kaheimpulsiliste dekatronide juures, keerukaid täisnurksete juhtimpulsside formeerimislülitusi. Väiksematel loenduskiirustel kõlbavad ka lihtsamad ja vähem täiuslikud lülitused.

Joonisel 5-10 on kolmeastmelise kümnendloenduri skeem, milles kasutatakse lihtsustatud juhtlülitusega kaheimpulsilisi dekatrone ЕГ-1. Dekatrone toidetakse alalispingega 400 V takistite R_1, R_2 ja R_3 kaudu. Abikatoodide eelpinge on ligikaudu 35 V, mis saadakse takistitest R_4 ja R_5 moodustatud pingejagajalt. Toite sisselülitamisel tekib igas dekatronis lahendus juhusliku elektroodidepaari vahel. Nullimisnupule «Nullimine» vajutamisel antakse katoodidele pinge +150 V, mille tulemusena lahendus jääb püsima nullkatoodile (ka pärast nupu tagastumist). Esimese negatiivse impulsi saabumisel muutub esimese dekatroni L_1

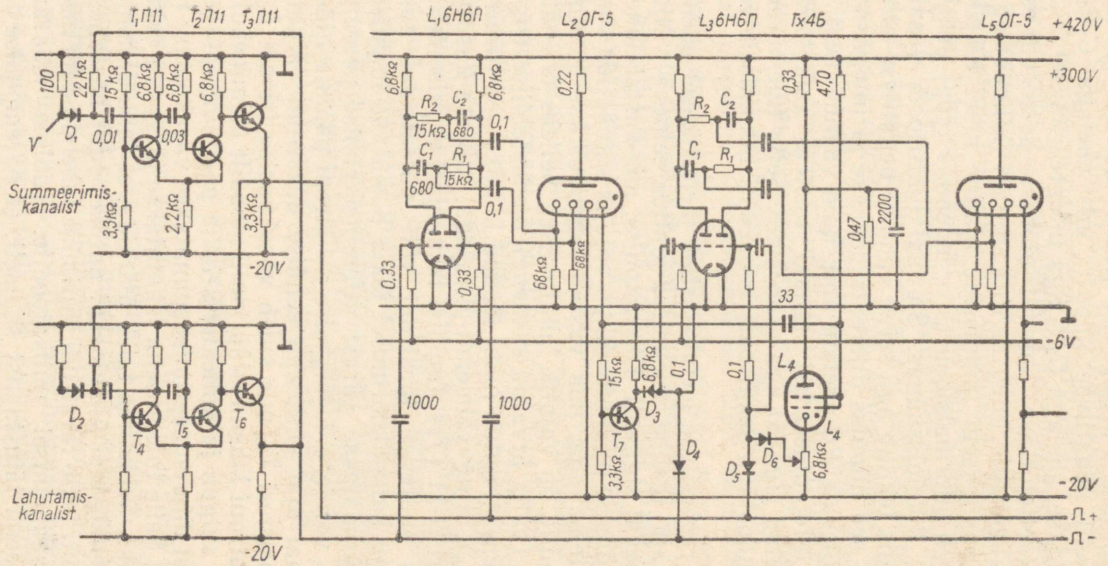


Joon. 5-10. Dekatronsummaatori skeem

anoodi ja esimese abikatoodi vaheline pinge suuremaks anoodi ja katoodi vahelisest pingest ning lahendus läheb üle esimese katoodgrupi esimesele abikatoodile. Välise impulsi toimeaja kestel laetakse kondensaator C_2 takisti R_8 kaudu. Samal ajal, tingituna kondensaatori C_1 laadimisest esimese abikatoodi vooluga, väheneb anoodi ja esimese abikatoodi vaheline pinge. Tavaliselt valitakse ajakonstant R_8C_2 selline, et negatiivne pinge kondensaatoril C_2 saavutaks maksimumi enne välise impulsi lõppemist (langevas osas), mille juures potentsiaalide vahe anoodi ja teise abikatoodi vahel muutub suuremaks pontentsiaalide vahest anoodi ja esimese abikatoodi vahel. Selle tulemusena läheb lahendus üle esimese katoodgrupi teisele abikatoodile. Samal ajal tühjendab abikatoodi ahelas tekkiv vool kondensaatori C_2. Sellega aga taastub teisel abikatoodil normaalne algpinge ja lahendus läheb üle esimesele indikaatorkatoodile.

Järgmise loendusimpulsi saabumisel kogu protsess kordub ja lahendus läheb esimeselt indikaatorkatoodilt üle teisele jne. Kümnenda impulsi järel jõuab lahendus uuesti nullkatoodile. Sellega tekib nullkatoodi ahela takistil R_6 positiivne impulss. Sellised impulsid saadakse takistil R_6 iga kord pärast kümnendat sisendiimpulssi. Kuna see impulss on nõrk (amplituudilt ja polaarsuselt) järgmise dekatroni tüürimiseks, võimendatakse impulss elektronlambi L_2 abil. Normaalselt on elektronlamp suletud. Positiivse impulsi andmisel elektronlambi võrele lamp avaneb ning viimase anoodahelast saadakse negatiivne impulss, mis juhitakse järgmise kümnendkoha dekatroni sisendisse. Pärast sajandat sisendiimpulssi tekib ka teise dekatroni väljundis (takistil R_7) ülekandeimpulss, mida pärast analoogilist võimendamist elektronlambi L_4 abil kasutatakse sajaliste loendusdekatroni tüürimiseks.

Kuna kaheimpulsilised dekatronid ОГ-5 on sümmeetrilise kujuga, on võimalik nende abil luua reversiivseid loenduslülitusi, muutes abikatoodide juhtimpulsside ajalist järjestust. Joonisel 5-11 on reversiivse kümnendsummaatori näide. Skeemis on kasutatud dekatrone ОГ-5. Dekatroni L_2 käivitusskeemis kasutatakse kaksiktrioodi L_1, mille anoodkoormusele on ühendatud kaks RC-ahelat. Viimased võimaldavad saada dekatroni L_2 juhtimpulsside erineva ajalise järjestuse, mis sõltub sellest, millise lambi L_1 poole võrele antakse sisendisignaal. Parempoolsele trioodile



Joon. 5-11. Reversiivse dekatronsummaatori skeem

antakse liitmiskanali impulsid, vasakule aga lahutamiskanali impulsid. Parempoolse trioodi sisendis tekitab signaal anoodil negatiivse impulsi, mis ahelaga C_1R_1 diferentseeritakse, ahelaga C_2R_2 aga integreeritakse. Diferentseeritud («ettetõttav») signaal juhitakse dekatroni esimestele abikatoodidele, integreeritud signaal (hilinev) aga teistele. Nii saadaksegi impulsside ajaline nihe. Kirjeldatud juhul liigub informatsioon (s. o. helendav täpp) dekatronis kellaosuti liikumissuunas. Signaal juhttrioodi vasakpoolses sisendis tekitab aga sellel anoodil negatiivse pingeimpulsi. Ka see impulss diferentseeritakse ja integreeritakse anoodis olevate *RC*-ahelate abil, kuid vastupidiselt. Nüüd antakse diferentseeritud signaal teistele abikatoodidele, integreeritud signaal aga esimestele. Selle tulemusena liigub lahendustäpp dekatronis kellaosuti liikumisele vastassuunas.

Mitme reversiivse loendusastme järjestikusel ühendamisel on vaja igaühe sisendisse juhtida eelneva väljundist kaks erinevat signaali. Üks impulss, mis vastab lahendustäpi jõudmisele nullkatoodi, on vajalik signaalide summeerimisel, teine aga, mis vastab lahendustäpi üleviimisele nullkatoodilt, on vajalik lahutamisel. Selleks täiendatakse iga astet (välja arvatud esimene) monostabiilse trigeriga, mille skeem on antud juhul loodud külmkatood-türatroniga ТХ4Б (L_4), ning võimendi-piirajaga, milleks kasutatakse transistori П-11 (T_7). Impulsi tekkimisel eelmise dekatroni väljundis suureneb türatroni võre potentsiaal, türatron süttib ning katoodkoormusel tekib positiivne impulss. See signaal suunatakse pärast diferentseerimist parempoolse trioodi L_3 võrele, s. t. järgmise dekatroni näidule liidetakse üks. Samal ajal küllastab eelmise dekatroni väljundisignaal transistori T_7, mis suleb vasakpoolse trioodi L_3. Eelmise dekatroni lahendustäpi nullkatoodilt üleminekul transistor T_7 sulgub ja kollektoris tekib positiivne pingehüpe, mis pärast diferentseerimist suunatakse vasakpoolse trioodi L_3 võrele. Selle tulemusena lahutatakse järgneva dekatroni näidust üks. Seejuures tuleb märkida, et lahutamisimpulss tekib lahendustäpi üleminekul nullkatoodilt mistahes suunas. Samuti tekib türatroni süttimine lahendustäpi mõlemapoolsel saabumisel nullkatoodile. Taoline määramatus nõuab skeemi täiustamist selliselt, et parempoolse trioodi võrele pääseksid vaid impulsid, mis tekivad lahendustäpi ületulekul üheksandalt katoodilt nullkatoodile. Vasakpool-

sele trioodile peab aga impulss pääsema vaid siis, kui lahendustäpp läheb üle nullkatoodilt üheksanda katoodi suunas. See saavutatakse diood-ühtivusskeemide lisamisega, milles kasutatakse emitterjärgijate T_3 ja T_6 signaale. Emitterjärgija T_3 saab signaali formeerivast monostabiilsest trigerist, milles kasutatakse transistore T_1 ja T_2 ja mis on ühendatud liitmiskanali sisendisse. Analoogiliselt on seostatud lahutamiskanali skeem, kus kasutatakse transistore T_4, T_5 ja T_6. Liitmissisendi ühtivusskeemis kasutatakse dioode D_5 ja D_6, kusjuures signaal läbib skeemi vaid siis, kui eelmises dekatronis kandub lahendustäpp üle nullkatoodile kellaosuti liikumissuunas, s. o. kui viimane loendusimpulss saabus liitmiskanali kaudu. Lahutamissisendi ühtivusskeemis kasutatakse dioode D_3 ja D_4, mis lasevad signaali läbi vaid siis, kui eelmise dekatroni nullasendi puhul järgmine loendusimpulss tuleb lahutamiskanalist. Skeemi normaalseks töötamiseks on veel vaja, et ühe sisendikanali monostabiilse trigeri rakendumine ei võimaldaks teise kanali trigeril sama impulsi toimel enam rakenduda. See saavutatakse kahe dioodi D_1 ja D_2 skeemi lülitamisega. Lähteseisundis on kummagi kanali emitterjärgijate väljundipotentsiaalid madalad ning umbes 10-voldise amplituudiga sisendisignaal läbib dioodid takistamatult, käivitades monostabiilse trigeri. Niipea kui üks trigeritest käivitub, tekib emitterjärgija väljundis kõrge pinge, mille abil (näit. T_3 väljundist dioodile D_2) teise kanali sisendisse ühendatud diood suletakse. Sel puhul teise kanali sisendisignaal ei suuda vastavat trigerit enam käivitada.

Kirjeldatud skeemi toimekiirus on ligikaudu 1000 imp/s. Skeem on kergesti täiendatav dekatronastmete lisamisega, mis võimaldab loendusmahtuvust suurendada.

5. Registraatorid

Registraatorites kasutatakse nii digitaalseid registratsiooniseadiseid kui ka eriskeeme ja -elemente, millega saab loendustulemusi esitada numbrilisel kujul kas visuaalseks jälgimiseks või fotoregistratsiooniks. Iga arvu kujutis koosneb rea sümbolite (numbrite) kogumikust. Seejuures võib ühe ja sama arvu kujutis olla erisugune sõltuvalt kasutatud arvusüsteemist. Nagu allpool täpsemalt näeme, kasutatakse automaatkontrolli seadmeis peale tavalise kümnend-

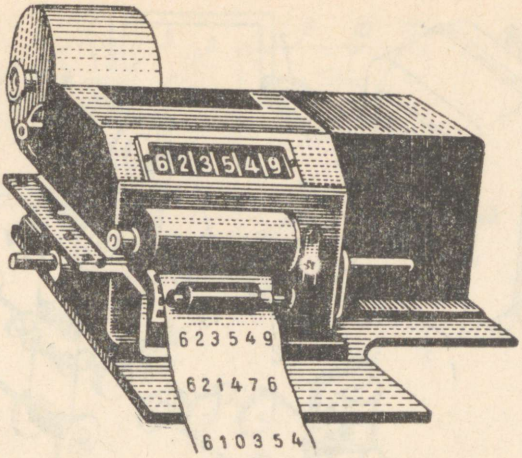
süsteemi ka kahendsüsteemi, harva kaheksandsüsteemi. Kõik need arvusüsteemid on positsioonsüsteemid, s. o. iga numbri asukoht arvus annab sellele vastava kaalu (ühelised, kümnelised, sajalised). Seega koosneb arvu kujutis kõigepealt reast arvukohtadest, millest igaühe hulka arvus tähistatakse vastava numbriga antud kohal. Seepärast peab ka summaatori väljundisignaal vastama juba positsioonsüsteemile, samal ajal kui summaatori sisendisse antakse lihtsalt üksteisele järgnevate impulsside jada (nn. unitaarkood).

Digitaalregistraatorid. Digitaalregistraatoreis trükitakse loendustulemused vastavale kaardile või lindile teatavate ajaintervallide möödumisel. Trükiseadel on reljeefsete numbrite kujutistega varustatud rullid või ketaste komplekt, mis kaetakse värviga või surutakse läbi kopeerpaberi trükipinnale. Seadmeis, kus paralleelselt trükkimisega saadakse ka visuaalne kujutis, pannakse mõlemad numbrirullide komplektid sünkroonselt liikuma vastavalt signaalidele, mis saabuvad seadme sisendisse andurist või summaatorist. Trükirullide surumiseks trükipinnale kasutatakse mehaanilisi seadmeid või elektromagneteid. Lisaks spetsiaalsetele digitaalregistraatoritele on automaatsetes loendussüsteemides küllalt ulatuslikult levinud mitmesugust tüüpi telegraafiaparaadid, samuti elektrifitseeritud kirjutusmasinad.

Joonisel 5-12 on loenduri üldvaade, kus lisaks loendustulemuste visuaalse jälgimise võimalusele kasutatakse tulemuste perioodilist trükkimist paberilindile. Rull-tüüpi loendusmehhanismi rullidel on reljeefsed arvude kujutised (peegelpildis), millele värvirullidega kantakse trükivärv. Mõnikord kasutatakse ka värvilinte, harvem kopeerpaberit. Trükkida võib nii käsitsi kui ka automaatselt. Viimasel juhul surutakse trükirullid hetkeks paberile elektronmagnetite abil, mida käivitatakse kontrollkelladest saadavate sobiva intervalliga juhtimpulssidega. Käsitsi trükkimisel tuleb perioodiliselt vajutada erilisele registratsioonikangile. Vajaduse korral võib trükkimisele järgneda ka loenduri automaatne nullimine.

Elektrifitseeritud kirjutusmasinad on trükiseadmena laialt levinud tsentraalkontrolli süsteemides, seepärast kirjeldatakse neid lähemalt tagapool (vt. lk. 164).

Fotoregistraatorid. Fotoregistraatorid võimaldavad mistahes visuaalsete indikaatorite näitusid regist-

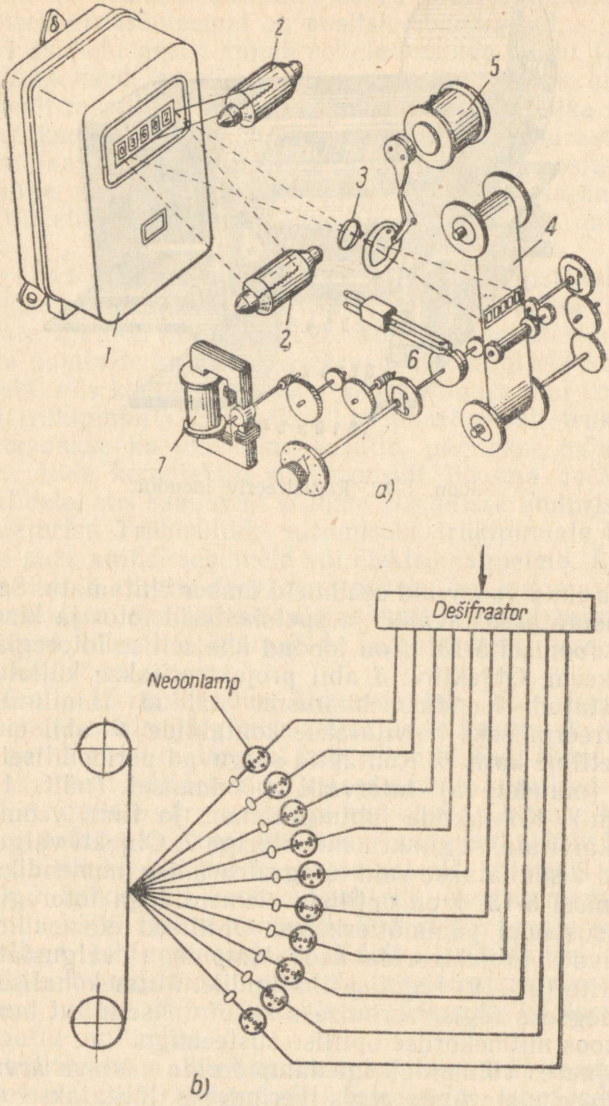


Joon. 5-12. Registreeriv loendur

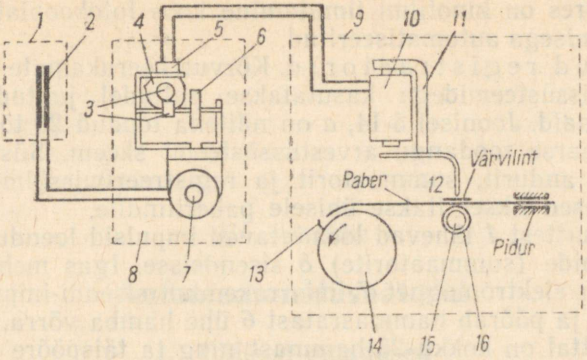
reerida ilma vastavaid seadmeid ümber ehitamata. Seejuures kasutatakse tavalisi ja spetsiaalseid foto- ja kinoaparaate. Joonisel 5-13, *a* on toodud ühe sellise fotoregistraatori skeem. Objektiivi *3* abil projekteeritakse küllaldaselt valgustatud loendusmehhanismi näidud filmilindile *4*. Registreerimiseks käivitatakse kontaktide *6* abil elektromagnetiline katik *5*. Kontaktid sulguvad perioodiliselt teatava (muudetava) intervalli möödumisel (näit. 15 või 30 min.). Kontaktide juhtmehhanism ja filmi veomehhanism käivitatakse sünkroonmootoriga *7*. Objekti valgustuslambid *2* süüdatakse vaid fotografeerimise momendiks.

Joonisel 5-13, *b* on optiliste elementidega fotoregistratsioonisüsteemi põhimõtteskeem. Optilised elemendid võimaldavad projekteerida neoonlampidega valgustatavate numbrite (0 . . . 9) kujutisi filmilindile. Mitmekohalise arvu samaaegseks registreerimiseks kasutatakse mitut lampiderida koos mitmekordse optilise süsteemiga.

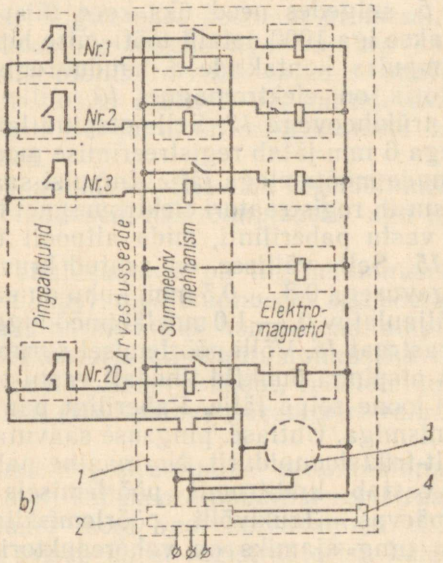
Seejuures võimaldab iga lampiderida vastava arvukoha registreerimist. Arvu registreerimiseks lülitatakse erilise dešifraatorlülituse abil hetkeks sisse iga rea vajalikud lambid, mis annavad filmilindil soovitud arvu kujutise. Süsteem võimaldab kuni 200 arvu registreerimist sekundis.



Joon. 5-13. Fotoregistraatorite põhimõtteskeeme:
a) ühise valgustiga; *b*) individuaalsete valgustitega



a)



b)

Joon. 5-14. Toodangut registreeriva arvestussüsteemi skeem:

a — registraatori skeem: *1* — andur; *2* — anduri kontakt; *3* — tiguajam; *4* — nukk-ketas; *5* — kontakt; *6* — hammasratas; *7* — elektromagnet; *8* — summaator; *9* — registraator; *10* — elektromagnet; *11* — ankur; *12* — trükihoob; *13* — hoidevedru; *14* — trummel; *15* — trükivõll; *16* — spiraal; *b* — elektriskeem: *1* — alaldi; *2* — kontaktor; *3* — mootor; *4* — käivitus- ja seiskamisnupud

Seejuures on kinofilmi ilmutamine koos fotokoopiate valmistamisega automatiseeritud.

Muud registraatorid. Kõrvuti keerukamate registreerimissüsteemidega kasutatakse paljudel juhtudel ka lihtsamaid. Joonisel 5-14, *a* on näitena toodud 20 tööpingi summaarse toodangu arvestussüsteemi skeem. Süsteemis on 20 andurit, summaatorit ja registreerimissõlme, kus tulemused fikseeritakse ühisele paberilindile.

Anduritest *1* lähevad loendatavad impulsid loendusmehhanismide (summaatorite) *8* sisendeisse. Igas mehhanismis on elektromagnet *7*, mis rakendub sisendi-impulsside toimel ja pöörab hammasratast *6* ühe hamba võrra. Hammasrattal on kokku 25 hammast ning ta täispööre vastab seega 25 loendatud detailile. Hammasratta võllilt antakse liikumine edasi nukkajami võllile tiguülekande kaudu, mille ülekandesuhe on 1:40. Nukk-ketas *4* paneb liikuma aga kontaktid *5*, sulgedes need üks kord täispöörde jooksul. Seega antakse iga 1000 detaili töötlemise lõpul summaatorist üks impulss kontaktide *5* kaudu registraatorisse *9*. Registraatoris on elektromagnet *10*, mille ankur *11* on sidestatud trükihoovaga *12*. Selle otspind laiusega 0,5 mm ja pikkusega 6 mm jätab registreerimise momendil paberilindile samade mõõtmetega jälje. Impulsi saabumisel summaatorist surub registraatori elektromagnet trükihoova abil värvilindi vastu paberilinti, mida altpoolt toetab pöörlev trükivõll *15*. Selle võllisse on tehtud kruvijoonekujuline süvend sügavusega 0,3 ... 0,5 mm, kuhu on paigutatud võlli pinnast väljaulatuv 0,7—1,0 mm läbimõõduga ja otstest kinnitatud terastraat *16*. Võlli pöörlemisel surub see traat kõik trükihoova otspinna punktid tihedalt vastu paberit, trükkides sinna joone selge jälje. Paberilint pannakse liikuma veomehhanismiga. Ühtlase pingsuse saavutamiseks kasutatakse vilt-friktsioonpidurit. Normaalne paberilindi liikumiskiirus vastab linditrumli pöörlemisele 2 täispöörde võrra ööpäevas. Trükivõlli pöörlemiskiirus on aga 2—5 p/min ning ajamiks on vahereduktoriga sünkroonmootor. Seadme elektriline skeem on toodud joonisel 5—14, *b*. Sisendisignaalide sageduse juures üle 100 imp/min kasutatakse elektromagneti toiteks alalispinget, registraatori elektromagneteid toidetakse aga vahelduvpingega. Süsteemi võib visuaalse jälgimise hõlbustamiseks täiendada ka elektromagnetiliste loenduritega.

VI peatükk

Automaatanalüsaatorid

I. Üldised omadused

Kõiki automaatanalüsaatoreid iseloomustab kahemõõtmeline töö: üheks mõõtmeks on analüüsiskaala, s. o. tunnus, mille alusel liigitatakse keerukat protsessi, seisundit või materjali koostist; teiseks aga vastava komponendi hulgaline koostis. Mõnikord tekib vajadus analüüsi tulemuste eristamiseks kas ajaliselt või paljude samataoliste objektide hulgast. Sel juhul on analüsaatorid kolme- või neljamõõtmelised.

Aine koostise analüsaatorites on liigitustunnuseks aine kvalitatiivsed omadused, mõõtetunnuseks aga iga alaliigi kogus.

Võnkumiste analüsaatoris on liigitustunnuseks võnkesagedus (lainepikkus), mõõtetunnuseks aga keeruka võnkeprotsessi vastava harmoonilise komponendi amplituud.

Väljade analüsaatoris on liigitustunnuseks füüsikalise välja elementaarpiirkonna asukoht, mõõtetunnuseks aga välja intensiivsus (või vastava parameetri väärtus) selles punktis.

Mõõtetulemuste registreerimine automaatanalüsaatorites vajab vähemalt kahekoordinaadilist registraatorit, keerukamail juhtudel isegi veel keerukamaid. Diskreetseis analüsaatoreis piisab ühest registraatorist, kuid see peab olema erilise juhtseadise abil ümberlülitatava registratsioonisõlmega.

2. Aine koostise analüsaatorid

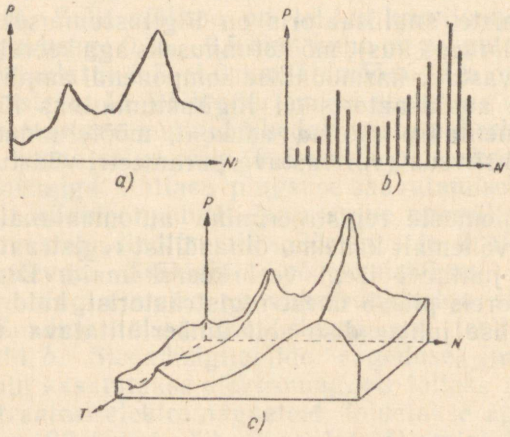
Aine koostise termilistes analüsaatorites kasutatakse ainesegu üksikute komponentide soojuse neelamis- või eraldamisvõime muutusi teatavatel temperatuuridel. Termilisi analüsaatoreid nimetatakse termograafilisteks.

Mass-spektromeetrilistes analüsaatorites eraldatakse ainesegu üksikute komponentide aatomid või molekulid elektri- ja magnetvälja abil, kasutades nende masside erinevusest põhjustatud liikumisteede erinevust.

Optilistes analüsaatorites kasutatakse ainesegu üksikute komponentide erinevat reageerimist elektromagnetilisele valgus- või raadiokiirgusele neeldumise, murdumise või peegeldumise suhtes. Tuntakse rida optilise analüüsimeetodi alaliike: spektraalne, röntgeni-, infrapunane, mikrolaineline ja kalorimeetriline analüüs.

Akustilistes analüsaatorites kasutatakse ära helilainete erinevat levimiskiirust analüüsitava aine üksikutes komponentides. Enamasti rakendatakse suure võnkesagedusega ultraheli.

Elektriliste analüsaatorite töötamine põhineb erinevate ainete erisugusel elektrijuhtivusel, elektriseerumisvõimel või elektrolüütilistel omadustel. Vastavaid analüüsimeeto-

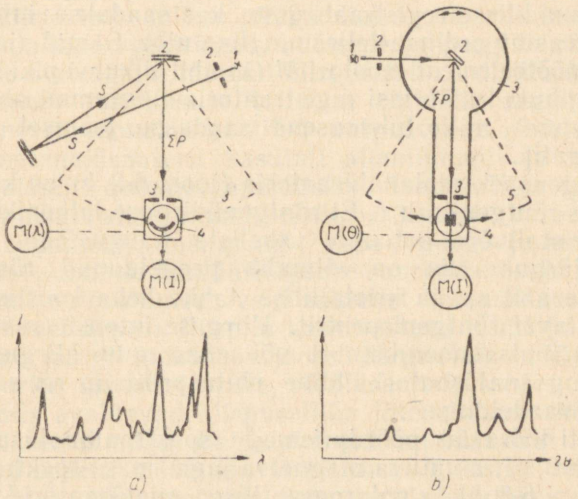


Joon. 6-1. Pideva (*a*), diskreetse (*b*) ja kolmemõõtmelise (*c*) analüüsi diagrammid

deid nimetatakse konduktomeetriliseks, elektromeetriliseks või polarograafiliseks.

Peale loetletute tuntakse veel paljusid teisi analüüsimeetodeid.

Aine koostise analüüsi tulemusi saab esitada graafiliselt (joon. 6-1): horisontaalteljele on kantud liigitustunnuse skaala, vertikaalteljele aga vastava komponendi



Joon. 6-2. Aine koostise automaatanalüsaatorite skeemid:
a — optiline spektraalanalüsaator; *b* — röntgenspektraalanalüsaator

skaala. Kui analüüsi tulemused sõltuvad ajast, liitub graafikule veel ajatelg ning graafik kujuneb kolmemõõtmeliseks.

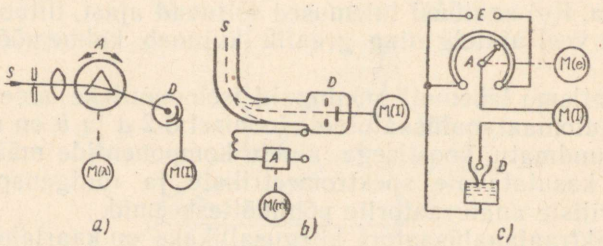
Vaatleme lähemalt mõningaid iseloomulikke aine koostise automaatanalüsaatoreid. Joonisel 6-2 *a* ja *b* on näidatud tundmatu koostisega ainete komponentide määramiseks kasutatavate spektromeetriliste ja röntgenspektromeetriliste analüsaatorite põhimõtteskeemid.

Spektraalanalüsaatori kiirgusallikaks on kaarlahendus-lamp *1*, mis põleb analüüsitavas keskkonnas ja mille tõttu leegi spekter sisaldabki vajalikku informatsiooni keskkonna koostise kohta. Kiirgus satub pärast peegeldumist

kollimaatorpeeglis difraktsioonvõrele *2*, mis on seadme analüüsivaks elemendiks. Difraktsioonvõre toimel annab valgus spektri, mis katab joonisel kujutatud sektori *3*, jagunedes sektori ulatuses ligikaudu võrdeliselt valguslaine pikkusega λ. Mõõteelemendiks kasutatakse tavaliselt fotoelementi (või fotokordistit) *4*, millelt saadav elektrisignaal iseloomustab vastava spektrijoone intensiivsust. Automaatses analüsaatoris juhitakse see signaal kahekoordinaadilisse registraatorisse, kus saadakse intensiivsusele vastav ordinaatteljesuunaline nihe. Samal ajal pannakse mõõteelement mootori *M* (λ) abil liikuma piki spektri kaart, nihutades ühtlasi registraatoris diagrammi abstsisstelje suunas, mille tulemusena saadakse joonisel näidatud graafik.

Röntgenspektraalanalüsaatoris (joon. 6-2, *b*) on kiirgusallikaks röntgenitoru *1*. Et röntgenikiirguse lainepikkus on aine kristallvõre aatomite vaheliste kaugustega samas suurusjärgus, siis on võimalik peegeldunud röntgenikiirguse abil saada kristallilise tahke keha koostist iseloomustavat röntgenispektrit. Kiirguse intensiivsust mõõdetakse ionisatsioonikambri või mõne muu kiirgustajuri abil ning analüsaatori üldine ehitusprintsiip on sarnane varem vaadelduga.

Teisiti töötavad pöördprismaga spektraalanalüsaatorid (joon. 6-3, *a*), muutuva magnetväljaga mass-spektromeetrid (joon. 6-3, *b*) ja polarograafilised analüsaatorid (joon. 6-3, *c*). Neis automaatanalüsaatoreis seisab tajur *D* paigal ning spektrit nihutatakse mingil viisil, kas pöörates mootori abil prismat *A* (joon. 6-3, *a*), muutes magnetvälja intensiivsust *A* (joon. 6-3, *b*) või võrdluspinge suurust *A*

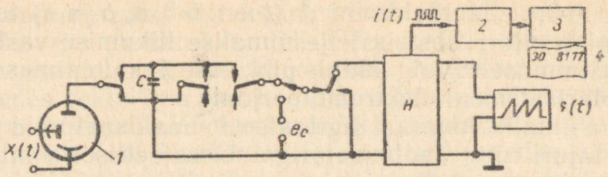


Joon. 6-3. Aine koostise automaatanalüsaatorite skeemid:
a — pöördprismaga spektraalanalüsaator; *b* — mass-spektromeetriline analüsaator; *c* — polarograafiline analüsaator

(joon. 6-3, *c*). Juhtelement *A* (joon. 6-3, *a*, *b* ja *c*) tekitab ka registraatori abstsissteljesuunalise liikumise vastavalt liigitustunnusele: valguslaine pikkusele λ, aatomimassile *m* või polarisatsiooni elektromotoorjõule *e*.

On võimalik luua ka digitaalseid analüsaatoreid liikumatu tajuri ning analüsaatoriga. Ühes sellises analüsaatoris on kasutusel üksteist fotokordistit, mis häälestatakse vaid teatavate spektraaljoonte vastuvõtuks. Selleks asetatakse kiirte teele mitme piluga diafragma, mis laseb läbi vaid vajalikud spektriosad. Läätsede ja peeglite abil suunatakse diafragmat läbinud kiirgus fotokordistile, kus viimase suure tundlikkuse tõttu on võimalik registreerida väga nõrku monokromaatilisi valgusvooge. Kirjeldatud automaatanalüsaatorit kasutati alumiiniumi- ja magneesiumisulamite automaatanalüüsiks. Seade võimaldab üheaegselt määta alumiiniumi-, räni-, berülliumi-, vase-, nikli-, plii-, kaadmiumi-, mangaani-, raua-, tsingi- ja antimonisisaldust sulamis. Analüüsitäpsuse suurendamiseks määdetakse mitte absoluutset, vaid suhtelist intensiivsust. Selleks on veel üks võrdluspilu koos vastava tajuri ja määtekanaliga mingi spektriosa jaoks. Järgnevalt määdetakse fototajurite suhtelisi voole võrdluskanali suhtes. Selles süsteemis avaldavad kiirgusallika intensiivsuse kõikumised väiksemat mõju. Paigalpüsivad analüsaatori sõlmed tagavad spektri määtmise stabiilsuse. Kaitseks temperatuurivigade, vibratsioonide jms. eest kasutatakse amortiseerimist ja temperatuuri stabiliseerimist. Iga diskreetse määtekanali väljundisse ühendatakse registraator ning nende näidud annavadki kokkuvõttes diskreetse spektri diagrammi. Lihtsamais analüsaatoreis kasutatakse ümberlülitatavat registraatorit. Mõnel juhul kasutatakse ka elektronkiiretorusid spektrogrammi otseseks tekitamiseks toru ekraanile.

Impulss- ja digitaaltehnika areng on võimaldanud luua ka teistsuguseid ainete analüsaatorite süsteeme. Üheks näiteks on firma «Hilger» automaatspektrograaf, mis võimaldab määrata metallisulamis kuni 30 komponendi sisaldust. Määteskeem on näidatud joonisel 6-4. Fotokordistid *I* ühendatakse teatud aja järel integreeriva kondensaatoriga *C*, millel kujunevat pinget määdetakse ning registreeritakse edaspidi vastava programmi alusel. Määtemomendil ühendatakse kondensaator *C* juhtlülituse kontaktide kaudu suure sisenditakistusega komparaatoriga *H*. Selles

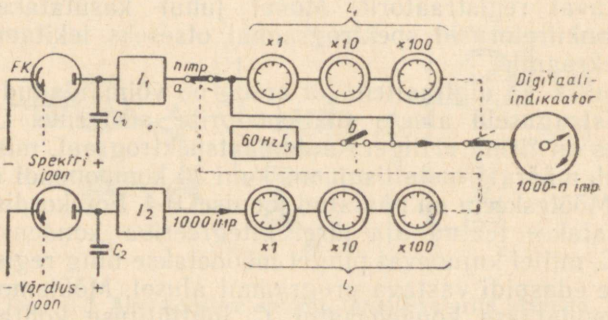


Joon. 6-4. Digitaalne automaatspektrograaf

võrreldakse kondensaatori pinget lineaarselt kasvava hälvituspingega, mis saadakse generaatorist S (t). Komparaatoris on veel stabiilse sagedusega (10 000 Hz) impulssgeneraator. Ajavahemikus mõõtetsükli algusest kuni kompensatsioonimomendini väljuvad need impulsid komparaatorist ning loendatakse neljadekaadilise dekatronloenduriga *2*.

Ühel mõõtetsüklil komparaatorist väljuvate impulsside arv on võrdeline spektrijoone intensiivsusega ning trükitakse registraatoris lindile *3* neljakohalise kümnendarvuna. Mõõtetulemusele trükitakse juurde ka kahekohaline mõõtekanalit tähistav arv. Seejuures mõõdetakse pinget täpsusega 0,1 %, mõõtetsükli kestuseks (koos registratsiooniga) on aga igas kanalis 6 sekundit.

Analoogiliselt töötab ka firma «Gerell Ash» spektraalanalüsaator (joon. 6-5). Üks fotokordisti mõõdab uuritava spektri joont, teine fotokordisti annab aga analoogilise signaali võrdluseks kasutatavalt spektrijoonelt. Mõlema fotokordistiga laetakse vastavaid kondensaatoreid C_1 ja C_2



Joon. 6-5. Digitaalne spektraalanalüsaator

Edasi lülitatakse kondensaatorid tühjenemisele, mille kestel vastavad impulssgeneraatorid I_1 ja I_2 genereerivad perioodilisi impulsse. Tühjenemisaeg valitakse selline, et võrdluskanalis genereeritakse täpselt 1000 impulssi. Pärast seda katkestatakse ka põhikanalis impulsside andmine loendurisse (kontakt *a* avaneb). Samal ajal sulgub kontakt *b* ning põhikanali loendurisse L_1 hakatakse lugema täiendavaid impulsse generaatorist I_3. Nüüd pääsevad need impulsid ka digitaalindikaatorisse. Impulsid lähevad indikaatorisse seni, kuni ka põhikanali loendur L_1 on täitunud. Kui seal kondensaatorite tühjenemise etapil salvestati n impulssi, siis täiendavate impulsside hulk, mis antakse ka digitaalindikaatorile, on 1000—n. Sellisele suurusele vastab siis lõplikult indikaatori näit. Et n sõltus ka võrdlusspektrijoone omadustest, siis on näit sisuliselt suhteline ning mitmed mõõtevead kompenseeruvad. Järgmise mõõtetsükli alguseks viiakse loendurid jälle nullasendisse.

3. Võnkumiste automaatanalüsaatorid

Komplitseeritud võnkumiste analüüsiks on vaja mõõta iga sagedusliku komponendi võnkeamplituud. Võnkumiste analüsaatorid ehitatakse reeglina elektrivõnkumiste jaoks ning mehaanilised ning akustilised võnked muundatakse vastavate andurite abil eelnevalt elektrilisteks.

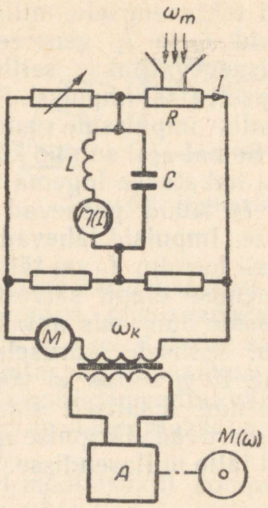
Joonisel 6-6 on lihtsa helianalüsaatori skeem, kus võnkumise harmoonilised eristatakse häälestatava helisagedusliku elektrongeneraatori *A* abil. Komplitseeritud helivõnked muundatakse mikrofoni *R* abil moduleerivateks elektrivõngeteks, mis sillaskeemis segustatakse võrdlusvõngetega (kandesagedusega), kusjuures viimaste sagedust suurendatakse pidevalt automaatajamiga *M* (ω).

Generaatorist saadav ja mikrofoni läbiv vool muutub siinuselise seaduse järgi:

$$I = I_m \sin \omega_k t,$$

kus I_m on voolu amplituudväärtus ja ω_k generaatori võnkesagedus vaadeldaval momendil.

Mikrofoni elektritakistus muutub aga helivõnkumise mingit sagedust ω_m omava harmoonilise komponendi toimel samuti siinuseliselt:



Joon. 6-6. Järjestiktoimeline helispektri automaatanalüsaatori skeem

$$R = R_o + R_m \sin \omega_m t,$$

kus R_o on mikrofoni takistuse muutumatu osa; R_m — takistuse muutumisamplituud. Mõlema võnkumise koostoimel sõltub mikrofoni pingelang voolu ja takistuse korrutisest:

$$E = iR = (R_o + R_m \sin \omega_m t)\, I_m \sin \omega_k t,$$

mida trigonomeetriliste teisenduste tulemusena saab avaldada kujul:

$$E = I_m R_o \sin \omega_k t + \frac{I_m R_m}{2} \cos (\omega_m - \omega_k) t - \frac{I_m R_m}{2} \cos (\omega_m + \omega_k) t.$$

Saadud matemaatilisest avaldusest nähtub, et võnkumine koosneb põhisageduslikust komponendist ω_k (kandesagedusest) ning ülemisest $(\omega_m + \omega_k)$ ja alumisest $(\omega_m - \omega_k)$ külgribast.

Silla diagonaali on lülitatud filter induktiivsusega L ja kondensaator C mahtuvusega, mis võimaldavad ainult väga madala sagedusega võnkesignaalide pääsemist amplituudiindikaatorisse M (I). Seepärast mõõdab indikaator vaid sagedust $\omega_m - \omega_k$ omavat pingekomponenti

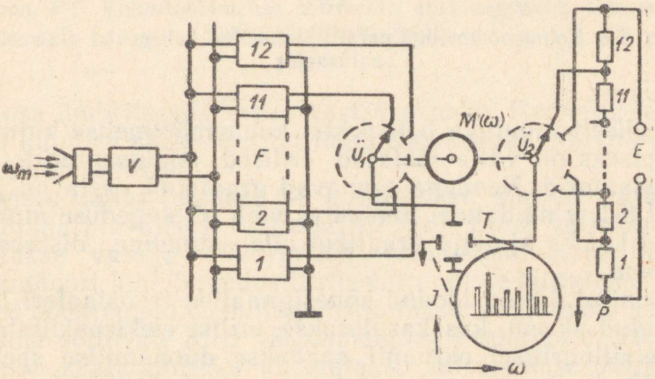
$$E' = \frac{I_m R_m}{2} \cos (\omega_m - \omega_k) t,$$

kusjuures ω_k peab olema väga lähedane ω_m väärtusele (nende vahe ei ületa 2 Hz).

Amplituudiindikaatori näit vastab seega helivõnkumise sellise komponendi amplituudile, mille sagedus on võrdne generaatorist saadud vahelduvvoolu sagedusega. Kui seda sagedust ω_k pidevalt muuta, võib järjekorras mõõta keeruka helivõnkumise kõiki sageduslikke komponente. Suunates amplituudi signaali registraatorisse ja pannes diagrammilindi liikuma sünkroonselt sageduse muutumisega, saame spektripildi, s. t. spektrogrammi.

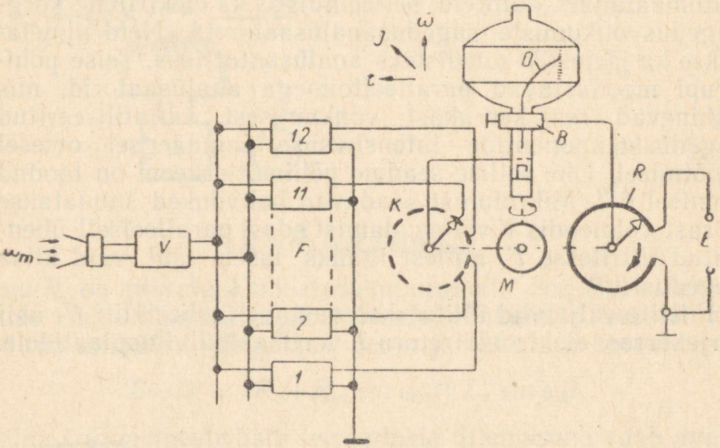
Ülalkirjeldatud põhimõtte kohaselt on ehitatud palju automaatanalüsaatoreid, nende hulgas ka elektriliste kõrgsagedusvõnkumiste sagedusanalüsaatoreid. Neid nimetatakse ka järjestiktoimelisteks analüsaatoriteks. Teise põhigrupi moodustavad paralleeltoimega analüsaatorid, mis põhinevad rea keerukast võnkumisest väljafiltreeritud sageduskomponentide intensiivsuse samaaegsel otsesel mõõtmisel. Ühe sellise seadme põhimõtteskeem on toodud joonisel 6-7. Mikrofonist saadavad helivõnked suunatakse pärast võimendis V võimendamist edasi paralleelselt ühendatud filtritesse F, millest igaüks laseb läbi vaid kitsa sagedusriba.

Filtrite väljundid lülitatakse vastava ümberlüliti $Ü_1$ abil järjekorras elektronkiiretoru T vertikaalhälvitusplaatidele.



Joon. 6-7. Paralleeltoimelise diskreetse helispektri automaatanalüsaatori skeem

Samal ajal antakse teise ümberlüliti U_2 kaudu horisontaalplaatidele astmeliselt muutuv pinge. Viimane saadakse sektsioneeritud pingejagajalt P. Pinge suurus on seejuures proportsionaalne vastava filtri läbilaskesagedusega ω_m (kitsa läbilaskeriba keskmine sagedus). Mõlemad ümberlülitid rakendatakse tööle sama mootorajamiga M (ω), millega tagatakse sünkroonne ja sünfaasne töötamine. Küllalt suure kontaktide ümberlülituskiiruse juures (näit. 1500 p/min) saadakse elektronkiireostsillograafil vertikaaljoonte-rida, millest igaüks iseloomustab võnkumise vastava sageduskomponendi amplituudi.

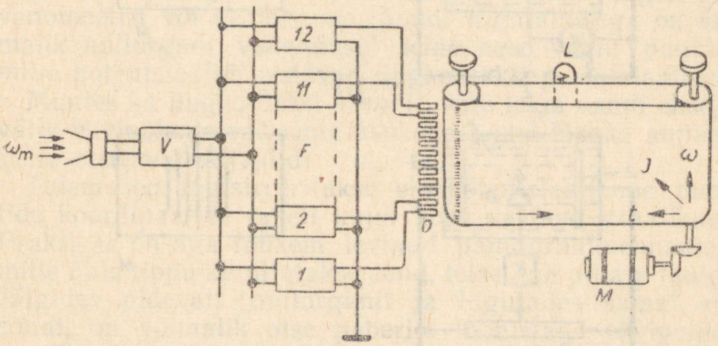


Joon. 6-8. Kolmemõõtmeline paralleeltoimeline helispektri diskreetne analüsaator

Ajaliselt muutuva helispektri kolmemõõtmelise kujutise saamiseks on välja töötatud erilised analüsaatorid, nn. translaatorid. Nendega saadavad graafikud vastavad joonisel 6-1, *c* näidatule. Seejuures võib nii sageduse muutumisel kui ka ajatelje graafikul olla astmeline, diskreetne iseloom.

Joonisel 6-8 on toodud kõnesignaalide translaatori lihtsustatud skeem, kus kasutatakse erilist elektronkiiretoru. Selle silindrilisel ekraanil saadakse dünaamilise spektri kujutis, kusjuures sagedustelg on suunatud piki toru moodustajat, ajatelg aga ümbermõõdu suunas. Heli vastava sageduskomponendi intensiivsust iseloomustab ekraani

helendamisaste. Elektronkiire hälvitamine sagedustelje suunas toimub hälvituspooli *B* abil, mida toidetakse hammaspinge generaatorist (joonisel on see skemaatiliselt esitatud mootorajamiga pingejagaja *R* kujul). Hälvitussignaaliga sünkroonselt lülitatakse sama ajamiga ümber filtrite väljundeid. Praktikas kasutatakse ümberlülitina (joonisel *K*) kontaktivabu elektronkommutaatoreid. Ümberlülitist antakse filtrite väljundipinged elektronkiiretoru tüürvõrele, millega muudetakse elektronkiire intensiivsust ja kujutise heledust. Spektri ajalise muutuse saamiseks pannakse elektronkiiretoru vastava ajamiga pöörlema vertikaaltelje ümber. Spektri jälgimiseks on toru silindri-



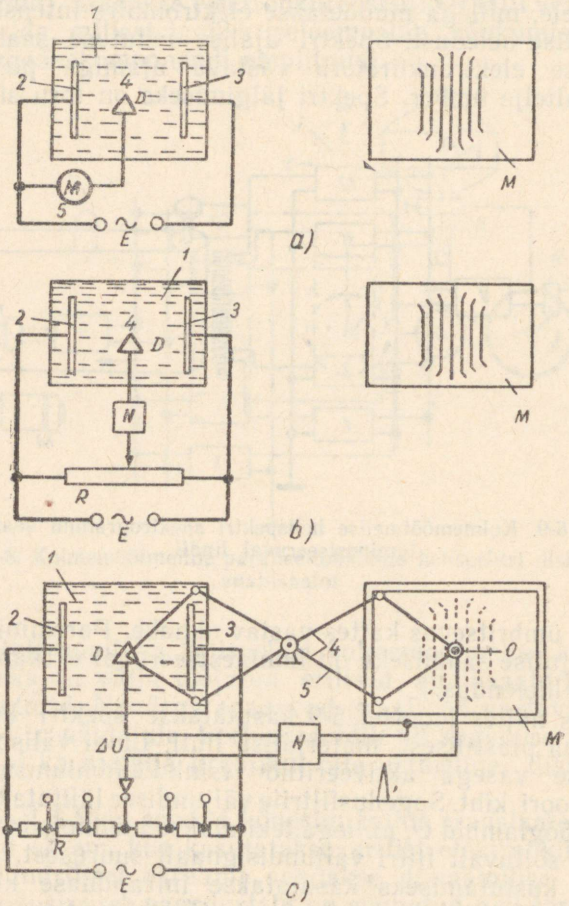
Joon. 6-9. Kolmemõõtmelise helispektri spektrogrammi saamine luminestseeruval lindil

list osa ümbritsevas kattes vastav aknake. Paremini jälgitava kujutise saamiseks on luminestseeruval ekraanil kestev järelhelendus.

Teises näites joonisel 6-9 kasutatakse spektri kujutise kandjana plastilisest materjalist linti. Lindi välispinnale kantakse vasega aktiveeritud tsink-kaadmiumsulfiidist luminofoori kiht. Sagedusfiltrite väljundisse lülitatakse väikesed hõõglambid *O*, millega tekitatakse luminofoori helendamine sõltuvalt filtri väljundisignaali suurusest. Helendamise kustutamiseks kasutatakse infrapunase kiirguse lampi *L*. Kasutatud luminofoori järelhelendus ületab 2 sekundit.

4. Automaatsed väljade analüsaatorid

Lihtsaima elektrivälja analüsaatori põhimõtteskeem, mida sageli kasutatakse mitmesuguste nähtuste elektrilisel modelleerimisel, on toodud joonisel 6-10, *a*. Elektrolüüdiga täidetud vanni *1* paigutatakse sobiva kujuga elekroodid *2* ja *3*. Rakendades neile vahelduvpinge, tekibki vanni elekt-



Joon. 6-10. Elektrolüütvanni elektrivälja analüsaatorite põhiliigid

rolüüdis elektriväli. Vahelduvpinge on vajalik elektroodide polarisatsiooni vältimiseks. Paigutades vanni sond-elektroodi *D*, on võimalik voltmeetriga *5* otseselt mõõta vanni iga punkti potentsiaali. Kui kanda mõõdetud väljapunktide potentsiaalide väärtused diagrammile, saadakse uuritav väljapilt *M*.

Kirjeldatud potentsiaalide otsese mõõtmise meetodi puuduseks on asjaolu, et voltmeetri poolt tarbitav vool moonutab oluliselt väljapilti. See on kõrvaldatav kompensatsioonimeetodi kasutamisega (joon. 6-10, *b*). Paralleelselt elektroodidega lülitatakse potentsiomeeter *R*, mille liugkontakti abil võib sujuvalt mõõta potentsiaali vahemikus 0 kuni *U*-ni. Sondi ja liugkontakti vahele lülitatakse nullorgan *N*. Nullorganina kasutatakse praktikas sageli galvanomeetrit või peatelefone. Sondi liigutamisega on võimalik nullorgani vahendusel leida need vanni punktid, mille potentsiaalid vastavad liugkontakti potentsiaalidele. Muutes ka liugkontakti asendit, võib leida vanni elektrivälja ekvipotentsiaaljoonte asukohad, mis lõpuks annabki meile otsitava väljapildi.

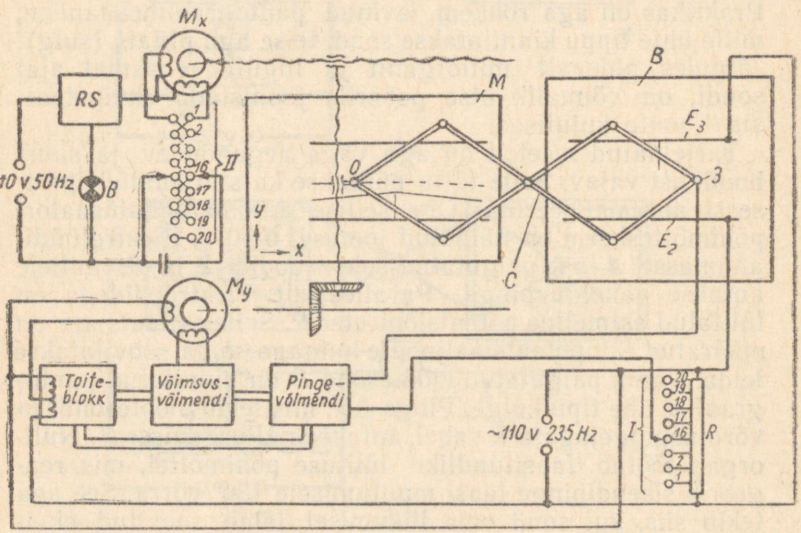
Tulemused registreeritakse ekvipotentsiaaljoone punktide koordinaatide tabeli kujul koos vastava graafikuga. Praktikas on aga rohkem levinud pantograafmehhanism, mille ühte tippu kinnitatakse sond, teise aga pliiats (sulg). Jälgides pidevalt nullorganit ja liigutades samal ajal sondi, on võimalik otse paberile joonistada ekvipotentsiaaljoonte kujutised.

Kirjeldatud meetod on aga väga aeganõudev ja suurt hoolikust vajav. Selle tõttu püütakse ka siin analüüsiprotsessi automatiseerida. Ühe sellise automaatanalüsaatori põhimõtteskeem on näidatud joonisel 6-10, *c*. Elektrolüüdianumasse *1* on paigutatud elektroodid *2* ja *3*, millele antakse vahelduvpinge. Paralleelselt elektroodidega on lülitatud astmeline potentsiomeeter *R*. Selle astmete arv on määratud ekvipotentsiaaljoonte hulgaga, mida soovitatakse leida. Vanni paigutatud mõõtesond *D* on kinnitatud pantograafi *4* ühe tipu külge. Pinge ΔU, mis tekib mõõtesondi ja võrdluspingejagaja *R* vahel, antakse nullorganisse *N*. Nullorgan töötab faasitundliku lülituse põhimõttel, mis reageerib sisendipinge faasi muutumisele 180° võrra. See aga tekib siis, kui sond oma liikumisel läbib soovitud ekvipotentsiaaljoone ($\Delta U = 0$). Sel hetkel genereerib nullorgan lühikese kõrgepingeimpulsi (kuni 3000 V), mis antakse

pantograafi teise tippu kinnitatud registraatori märkimisteravikule O. Et diagrammipaber on registraatoris paigutatud metallalusele, tekib kõrgepingeimpulsi toimel diagrammipaberi elektriline läbilöök ning ekvipotentsiaaljoone kohale fikseeritakse punkt. Seejärel nihutatakse seda pantograafi teises kohas läbi otsitava ekvipotentsiaaljoone, saadakse uus punkt jne. Pärast kogu joone registreerimist rea punktide kogumina muudetakse pingejagaja liugkontakti asendit ja registreeritakse ka teised jooned. Lõpuks saadakse kogu väljapilt diagrammina.

Kirjeldatud protsess on täielikult automatiseeritav. Joonisel 6-11 on näidatud automaatanalüsaatori põhimõtteskeem, kus seade automaatselt registreerib ettenähtud arvu ekvipotentsiaaljooni ning seejärel lülitub välja. Kirjeldatav seade on mõeldud välja üksikute piirkondade automaatseks analüüsimiseks ulatuses, milles ekvipotentsiaaljoone suund ei muutu üle 90°.

Mootoriga M_x pannakse mõõtesond ühtlase kiirusega liikuma x-telje suunas. Samal ajal aga hoiab ristsuunaliselt (y-telje suunas) toimiv automaattasakaalustussüsteem



Joon. 6-11. Elektrivälja automaatanalüsaatori skeem

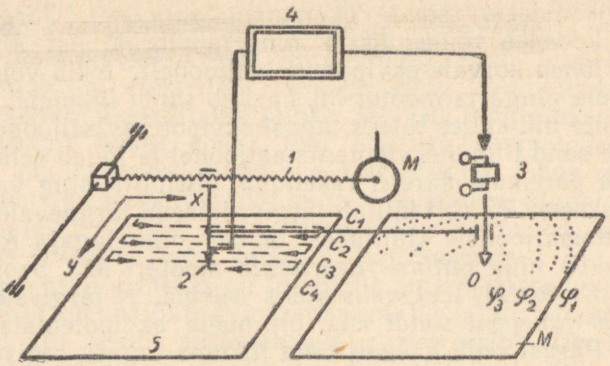
(järgivsüsteem) sondi ekvipotentsiaaljoonel. Järgivsüsteem koosneb võimendist V ning mootorajamist M_y. Kui sond läheb kõrvale ekvipotentsiaaljoonelt, tekib võimendi sisendis pinge ja mootor M_y hakkab sondi liikumist korrigeerima nii, et see tuleks tagasi ekvipotentsiaaljoonele.

Kui sond liigub ekvipotentsiaaljoonel ja jõuab selle piirkonna paremale äärele, rakendub piirlüliti ning vastava releeskeemi *RS* abil lülitab järgivsüsteemi järgnevale ekvipotentsiaaljoonele (lülitades ümber pingejagaja *R* liugkontakti) ning ühtlasi reverseerib mootori M_x. Seejuures jääb mootor M_x teatavaks ajaks seisma, et järgivsüsteem jõuaks vahepeal sondi viia üle uuele ekvipotentsiaaljoonele. Pärast seda hakkab sond liikuma tagasi, registreerides selle käigus järgmise ekvipotentsiaaljoone. Analoogiline protsess kestab seni, kuni kõik ettenähtud ekvipotentsiaaljooned on registreeritud. Registreerimine ise toimub kas sulega või ülalkirjeldatud sädemenetlusel. Registreerimisorgan on sondiga ühendatud pantograafi abil.

Kogu seade on monteeritud ühte korpusesse nii, et välja ulatub vaid pantograafi üks ots sondi kinnitamiseks. Seade paigaldatakse vanni lähedusse. Sond tehakse peenest traadist, mille üks ots ulatub vanni, teine aga on isoleeritult kinnitatud pantograafi külge.

Väljade automaatanalüsaatoris võib kasutada ka skaneerimisprintsiipi (hälvitusmeetodit). Tasapinnalise välja analüüs skaneerimisprintsiibil sarnaneb kaasaegse televisiooni põhimõttega ja seisneb selles, et analüüsi käigus pannakse sond liikuma ühtlase kiirusega piki paralleelseid, tihedasti lähestikku paiknevaid «ridu», kuni kogu uuritav pind on läbi käidud. Sellist tüüpi analüsaatori põhimõtteskeem on näidatud joonisel 6-12.

Mootori M abil pannakse sond *2* käigukruviga *1* liikuma sirgjooneliselt piki x-telge uuritava välja piirkonnas *5*. Äärmistes punktides mootor reverseeritakse ning sond hakkab liikuma tagasi. Samal ajal nihutatakse kogu veomehhanismi edasi Y-telje suunas «rea laiuse» võrra. Samal ajal muutub sondi potentsiaal vastavalt tema asukohale väljas. Sama ajamiga pannakse täpselt samuti liikuma registraator, kusjuures registreerimisorgan *0* liigub sünkroonselt sondiga. Registreerimisorganit juhitakse elektromagnetiga *3*, mis omakorda saab vajalikke signaale juhtsõlmest *4*. See on tehtud nii, et iga kord, kui sondi potentsiaal osutub võrdseks ühega soovitud ekvipotentsiaal-



Joon. 6-12. Skaneerimisprintsiibilise välja automaatana lüsaatori skeem

joonte potentsiaalidest, genereerib juhtsõlm impulsi, mis rakendab elektromagneti ja surub registreerimisorgani hetkeks vastu paberit, fikseerides sellel punkti. Kui sond on jõudnud läbida kogu analüüsitava välja, saab diagrammile trükitud punktide alusel kergesti joonestada korraga kõik meid huvitavad ekvipotentsiaaljooned. Skaneerimismeetodi eeliseks on aga veel see, et korraga on võimalik saada mitut liiki jooni, näiteks lisaks ekvipotentsiaaljoontele ka jõujooni jne. Ka on võimalik meetodit kasutada väga mitmesuguste füüsikaliste väljade analüüsimisel.

VII peatükk

Tsentraalkontrolli süsteemid

1. Üldised omadused

Suurtes tööstusettevõtetes, mis haaravad ulatuslikke ja keerukaid tehnoloogilisi protsesse, nagu elektrijaamad, keemia- ja metallurgiatehased jne., on tootmisprotsessi normaalseks ja häireteta töötamiseks vaja pidevalt kontrollida väga paljusid tehnoloogilist protsessi iseloomustavaid parameetreid: temperatuure, rõhkusid, toormaterjali ja valmisprodukti koguseid, toodangu kvaliteeti jne.

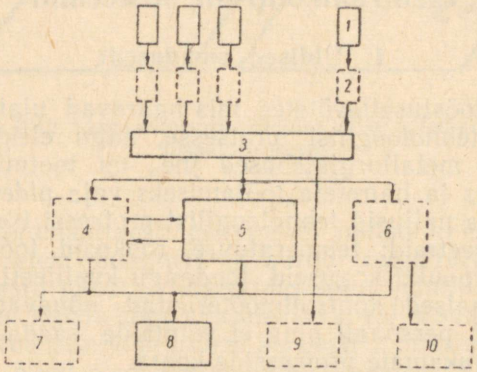
Individuaalsed kontrollmõõteriistad nõuavad arvukat teenindavat personali ning ei võimalda saada head ülevaadet keerukamate protsesside kohta.

Sekundaarmõõteriistade koondamine tsentraalsetele kilpidele ei osutu samuti riistade suure arvu korral (üle 30—50 mõõteriista) efektiivseks. Samal ajal aga täielikuks kontrolliks vajalik mõõteriistade arv ulatub paljudel juhtudel 100—200-ni. Sellistes tingimustes otsiti lahendust miniatuurse kontrollaparatuuri ja mnemoskeemi kasutuselevõtmisega, kuid paljude mõõteriistade puhul operaatori tähelepanu siiski hajutatakse ning tohutu hulga diagrammilintide analüüs on väga töömahukas.

Probleem lahendati uute progressiivsete automaatkontrolli vahendite — tsentraalkontrolli automaatide kasutuselevõtmisega. Sageli nimetatakse neid ka tsentraliseeritud informatsiooni (kogumise) masinateks. Nad asendavad täielikult sekundaarmõõteriistu ning annavad kogu informatsiooni tehnoloogilise protsessi kohta ühele formularile trükituna.

Täpsemalt mõistetakse tsentraalkontrolli automaatseadmete all selliseid süsteeme, mis on mõeldud terviklikku tootmisprotsessi iseloomustava kompleksse informatsiooni kogumiseks ja esialgseks töötlemiseks.

Tavaliselt koosneb selline seade paljukanalilisest skaneerimisseadisest, analoog-digitaal-muundureist, trükkivast väljundiseadmest ning mõnel juhul ka signalisatsioonivahendeist ning lihtsamast arvutusaparatuurist. Lihtsamad arvutusseadmed võimaldavad määrata ruutjuurt, integraali, keskväärtust jms. Kui on tegemist keerukamate arvutusoperatsioonidega, näiteks omahinna arvutus, diferentsiaalvõrrandite lahendamine jne., tuleb rakendada elektronarvuteid.



Joon. 7-1. Automaatregistratsiooni süsteemi tüüpskeem:

1 — andurid; *2* — muundurid; *3* — kommutaator; *4* — aritmeetiline sõlm; *5* — digitaalmuundur; *6* — võrdlussõlm; *7* — valgustabloo; *8* — trükiseade; *9* — pideva registratsiooni sõlm; *10* — signalisatsioonipaneel

Üheks lihtsamaks tsentraalkontrolli süsteemi liigiks on automaatregistratsiooniseade, mille tüüpiline blokkskeem on toodud joonisel 7-1. See koosneb andureist *1*, kommutaatorist *3*, digitaalmuundurist *5* ja väljundiseadmest. Selle süsteemi juurde võivad veel kuuluda primaarmuundurid *2*, võrdlussõlm *6*, aritmeetiline sõlm *4* ning mõned muud elemendid (näit. signalisatsioonipaneel *10*).

Tehnoloogilise protsessi parameetrid tulevad tsentraalautomaati andurite signaalide kujul, mis võivad olla unifitseeritud või unifitseerimata. Kui tsentraalautomaat on määratud vaid ühte liiki andurite jaoks, siis primaarmuundur (kui mittevajalik) puudub. Mitut liiki andurite puhul

on võimalik kaks lahendust. Ühel juhul kasutatakse iga anduriliigi jaoks omaette mõõte-võrdluslülitust, teisel juhul aga andurite signaalid unifitseeritakse täiendavate muundusseadistega. Vajalike muundusseadiste arv on võrdne erinevate anduriliikide hulgaga. On ka süsteeme, milles iga andur on varustatud vahemuunduriga.

Unifitseeritud signaalid lähevad edasi kommutatsioonisõlme, mis neid järjekorras ühendab seadme mõõtesõlmedega (nn. skaneerimismeetod). Seejuures võidakse analoogsignaal (pidevatoimeline signaal) kõigepealt muundada digitaalkujule, mida veel edaspidi kujundatakse või suunatakse signaal edasi mõõteseadmesse analoogkujul.

Mõõteseadmes on võrdlussõlm, kus mõõdetavat suurust võrreldakse varem kindlaksmääratud piirsuurustega (minimaalse ja maksimaalsega). Kui mõõdetav suurus ületab maksimaalpiiri või on väiksem minimaalpiirist, lülitub töösse signalisatsioonisüsteem (näit. valgus- ja helisignaali näol) ning trükiseade trükib parameetri tegeliku väärtuse punase värviga väljundiformularile. Kui parameetri väärtus tuleb hiljem normaalsetesse piiridesse tagasi, trükitakse edasised väärtused musta värviga.

Mõnes tsentraalautomaadis on võrdlus- ja mõõtesõlmed eraldi ning varustatud omaette kommutaatoritega. Paljudel juhtudel on automaadid varustatud ka lisaseadmetega juhtsignaalide tekitamiseks normaalolekust kõrvalekaldunud suuruste esialgse oleku taastamiseks (automaatreguleerimiseks).

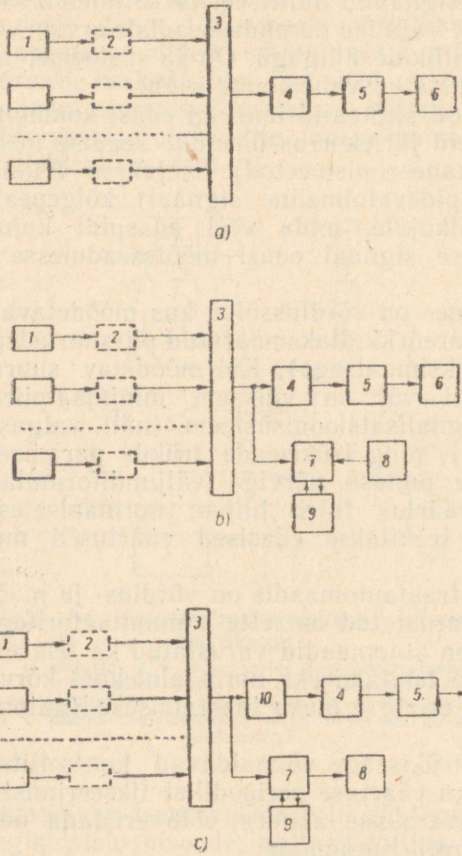
Mõõte- ja trükiseade võimaldavad kontrollitava parameetri tegeliku väärtuse perioodilist fikseerimist.

Sõltuvalt keerukuse astmest võib eristada nelja tüüpi tsentraalkontrolli automaate:

a) registreerimissüsteem;
b) registreerimis- ja signalisatsioonisüsteem;
c) arvutusseadmega kontrollisüsteem;
d) teleülekandeseadmega kontrollisüsteem.

Registreerimissüsteemi põhisõlmedeks (joon. 7-2, *a*) on andurid *1*, kommutaator *3*, digitaalmuundur *4*, väljundijaotur *5* ning väljundiseade *6*. Peale nimetatute võivad süsteemi kuuluda ka primaarmuundurid *2* andurite signaalide unifitseerimiseks.

Registreerimis- ja signalisatsioonisüsteemi blokkskeemis



Joon. 7-2. Tsentraalkontrolli süsteemide põhiliigid:

a — automaatregistratsiooni süsteem; *b* — signalisatsiooni- ja registratsioonisüsteem; *c* — arvutusseadmega kontrollisüsteem:
1 — andurid; *2* — muundurid; *3* — sisendikommutaator; *4* — digitaalmuundur; *5* — väljundijaotur; *6* — väljundiseade; *7* — hälvete mööteblokk; *8* — mäluseade; *9* — signalisatsioonisõlm; *10* — aritmeetiline sõlm

(joon. 7-2, *b*) on täiendavalt hälvete mõõteblokk *7*, parameetrite normaal- ja piirväärtuste mäluseade *8* ning signalisatsioonisõlm *9*.

Viimastena nimetatud süsteemidele lisanduvad täiendavad sõlmed *10* arvutusoperatsioonide sooritamiseks või mõõtetulemuste kohandamiseks teleülekandeks.

Rakenduseesmärkide seisukohalt võib tsentraalkontrolli automaate liigitada järgmiselt:

1) tehnoloogiliste protsesside automaatkontrolli süsteemid;

2) (tehnoloogiliste) protsesside automatiseeritud uurimise süsteemid;

3) informatsiooni automaatse töötlemise süsteemid.

Antud juhul pakuvad huvi esimese grupi süsteemid.

Mis puutub automaatseadmete konstruktsiooni, siis siin võib eristada kahte olulisemat liiki:

1) analoogsüsteemid,

2) digitaalsüsteemid.

Ka analoogsüsteemides kasutatakse mõnikord digitaalelemente piiratud ulatuses. Kõik kontrollitava parameetri mõõtmise ja võrdlemise operatsioonid viiakse läbi analoogvormis, s. o. mõõtelülitustega, kus kontrollitav parameeter on määratud pideval kujul, tavaliselt alalispingena. Kontrollitava suuruse maksimaal- ja minimaalväärtused salvestatakse vastavate reostaatide liugkontaktide abil. Kõik vajalikud arvutusoperatsioonid realiseeritakse pidevatoimeliste arvutuselementidega. Analoogsüsteemid ehitatakse üles tavaliselt elektromehaanilistest või elektronelementidest.

Digitaalsüsteemides muundatakse andurite signaal kõigepealt digitaalkujule (mõnel juhul saadakse signaal juba andureist digitaalkujul). Informatsioon salvestatakse tavaliselt magnetlindi, magnettrumli jne. abil kahendkoodis. Viimasel ajal on digitaalsüsteemid rohkem levinud, kuna nad tagavad suurema täpsuse, võrreldes analoogsüsteemidega. Peale selle on nende töökindlus parem, samuti ei sõltu tööomadused keskkonna temperatuuri ja toitepinge kõikumistest.

2. Andurid

Tsentraalkontrolli automaatsüsteemid on mõeldud kõige mitmesugusemate füüsikaliste suuruste kontrolliks: temperatuurid, rõhud, gaaside ja vedelike kulud, mehaanilised nihked jne.

Informatsiooni ülekandeks tsentraalautomaati kasutatakse distantsülekandeseadmetega andureid. Tsentraalautomaadi juures on tähtis see, millise signaali kujul saabub informatsioon automaati. Kõige sagedamini on tsentraalautomaadid kohandatud alalispinge signaalide vastuvõtuks, harvemini kasutatakse vahelduvpinget või impulss-signaale.

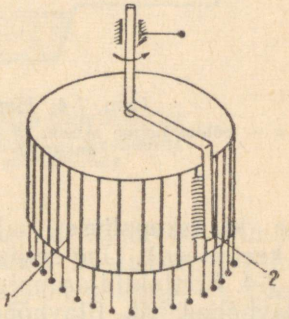
Paljudes tööstusharudes rakendatakse plahvatusohu tõttu ja muudel põhjustel pneumoandureid (andureid, mis on varustatud pneumaatilise distantsülekandega). Kuid pneumaatiline signaal on vähesobiv informatsiooni sisestamiseks tsentraalautomaati, kuna pneumosignaalide kommutaatorid on kohmakad ja aeglase toimega. Seepärast varustatakse pneumoandurid pneumoelektriliste muunduritega, mille vahendusel saab signaalid anda tsentraalautomaati elektrilisel kujul.

Käesoleval ajal tuntakse ja kasutatakse väga paljusid andureid ja muundureid. Sellele vaatamata puuduvad rea rakenduste jaoks sobivad täpsed ja töökindlad andurid.

3. Kommutaatorid

Kommutaatorid on tsentraalautomaadi üheks vastutusrikkamaks elemendiks. Nad on vajalikud nii mõõteahelate kui ka juhtimissõlmede ümberlülitamiseks. Kui juhtimisahelate kommutaatorid lülitavad ümber küllalt kõrgeid pingeid, siis mõõteahelate kommutaatorite juures on enamasti üsna väikesed pinged (millivolt ja vähemgi). See seab kommutaatorite ette väga kõrged nõuded nii töökindluse ja stabiilsuse kui ka väikese kontaktide ülemineku-takistuse ning häirete puudumise suhtes. Pealegi on kommutaatorid enamasti kogu automaadi töökiirust piiravateks elementideks. Kõik see tingib väga mitmesuguse tööprintsiibi ja iseärasustega kommutaatorite kasutamise, mille tähtsamate liikide iseärasusi allpool lühidalt vaadeldaksegi.

Pidevalt pöörlevad elektromehaanilised kommutaatorid. Kommutaator (joon. 7-3) koosneb paigalseisvast trumlist, mille ümber paiknevad üksteisest isoleeritud kontaktlamellid *1*, ning pöörlevast mehaanilisest kontaktharjast *2*. Kontakti kaitseks oksüdeerumise vastu, samuti kulumise vähendamiseks paigutatakse kogu kommutaator õlisse, kontaktid aga kaetakse väärismetallidega. Kommutaator pannakse pöörlema elektrimootoriga. Vaadeldavat tüüpi kommutaatorid on küllalt töökindlad ja sobivad väikeste pingete ümberlülitamiseks. Nende puuduseks on aga suhteliselt väikene töökiirus (5-10 ümberlülitust sekundis).

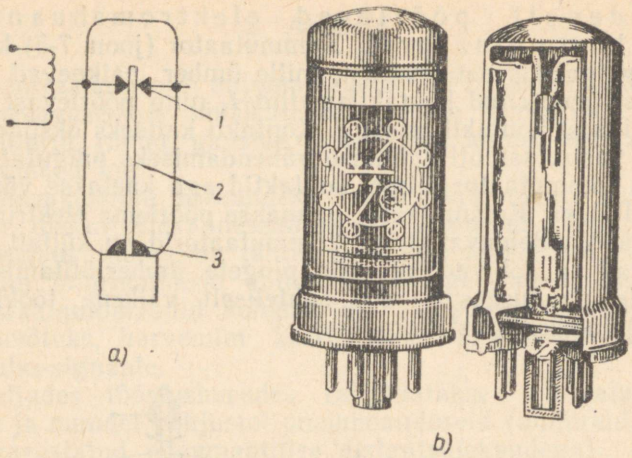


Joon. 7-3. Pidevalt pöörlev kommutaator: *1* — kontaktlamellid; *2* — hari

Sammvalijad. Need on telefonitehnikas kasutatavad elektromehaanilised ümberlülitid, mis käivitatakse elektromagnetitesse antavate vooluimpulssidega. Väikeste pingete ümberlülitamisel on vaja kontaktid katta kulla või pallaadiumi kihiga. Nende töötamispõhimõte on sarnane eelmise kommutaatoriga, kuid töökindlus on mõningal määral väiksem, mistõttu uusimates ja vastutusrikkamates süsteemides neid ei kasutata.

Releekommutaatorid. Nende põhiosaks on releedest koostatud lülitus, releejaotur, mis juhib andurite ahelate korrapärast ümberlülitamist releekontaktide abil. Seejuures kasutatakse enamasti hermeetilisi releesid (näit. РМУГ). Releekommutaatori lülitusi on kerge täiendada, mis võimaldab lihtsalt tsentraalautomaadi mahtu suurendada.

Välismaistes tsentraalautomaatides on kasutusel hermee-

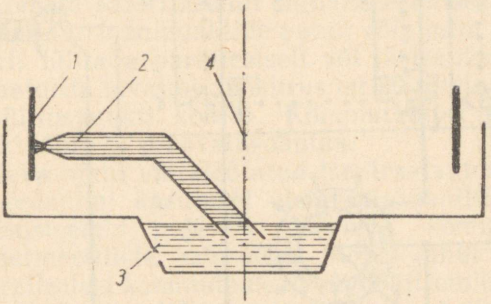


Joon. 7-4. Hermeetiline keelrelee:
a — põhimõtteline skeem; *b* — üldvaade; *1* — kontaktid; *2* — ankur; *3* — elavhõbedatilk

tilisse klaaskapslisse paigutatud kontaktidega releed (nn. keelreleed). Ühe sellise relee skeem on näidatud joonisel 7-4. Kontaktid on paigutatud klaaskolvisse, kus asub ka elavhõbedatilk. Elavhõbe valgub kontaktipinnale laiali ning tagab pidevalt puhta ja värske kontaktipinna. Selle tulemuseks on relee suur töökindlus. Relee tööiga on kuni 100 miljardit lülitust. Käesoleval ajal on sellised releed väga kallid.

E l a v h õ b e d a j o a - k o m m u t a a t o r i d. Need on suure töökiirusega töökindlad ümberlülitid. Põhimõtteskeem on toodud joonisel 7-5. Paigalseisvas elavhõbedaga kuni pooleni täidetud reservuaaris asub pöörlev düüsiga toru. Düüsiga ühel tasapinnal on rida alaliselt kinnitatud kontaktvardaid. Toru pöörlemisel paiskub elavhõbe tsentrifugaaljõu toimel düüsist välja ning tekkiv elavhõbedajuga ühendabki reservuaaris asuva elavhõbedasamba järjekorras kõigi kontaktvarrastega. Väljavoolanud elavhõbe koguneb hiljem uuesti reservuaari allossa. See kommutaator tagab töökindla lülitamise kiiruse juures kuni 300 asendit sekundis ja enam. Samal ajal on häirete mõju väike ning tööiga suur. Kirjeldatud tüüpi kommutaatoreid kasutatakse laialdaselt.

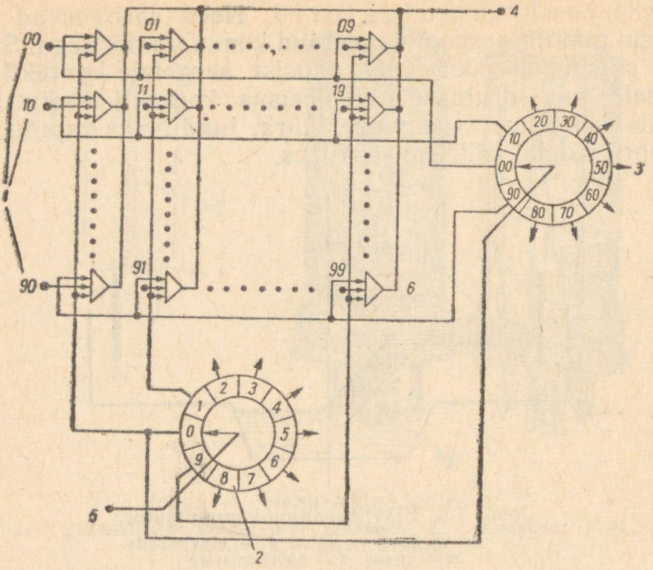
Õhujoakommutaatorid. Need sarnanevad mõningal määral eespool vaadeldud kommutaatoritega. Surugõhk paisatakse pöörlevast düüsist kergetele kontaktliblekestele, mis surutakse paigalseisva kontakti vastu. Süsteemi iseloomustavad väike müra, tundlikkus raputustele ja põrutustele, väiksem töökiirus.



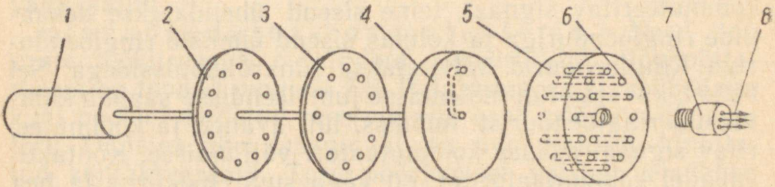
Joon. 7-5. Elavhõbedajoa-kommutaator
1 — kontakt; *2* — düüs; *3* — elavhõbeda reservuaar; *4* — pöörlemistelg

Elektronkommutaatorid. Elektronkommutaatorite liiki kuuluvad mitmesugused kontaktivabad ümberlülitussüsteemid, mis tehakse elektronlamp- ja pooljuhtelementidest. Lihtsama kommutaatori põhimõtteskeem on toodud joonisel 7-6. Niisugune kommutaator on saja ümberlülituskanali jaoks ja koosneb sajast «ja»-tüüpi kolme sisendiga loogikalülist. Ühele sisendile antakse kommuteeritav signaal, teine sisend ühendatakse dekaadide ringloenduriga ja kolmas sisend üheliste ringloenduriga. Ringloendurid käivitatakse sünkroimpulssidega. Sel hetkel, kui «ja»-lüli mõlemasse juhtsisendisse saabub kummastki ringloendurist impuiss, lüli avaneb ja kommuteeritav signaal pääseb kommutaatori väljundisse. Kontaktivabadel kommutaatoritel on väga suur töökiirus ja hea töökindlus, kuid nõrkade signaalide ümberlülitamine on neis raskendatud.

Pneumokommutaatorid. Neid kasutatakse siis, kui enamus kontrollitavatest signaalidest on pneumosignaalide kujul ning vajalik töökiirus pole suur. Joonisel 7-7 on näidatud pidevalt pöörleva pneumokommutaatori põhimõtteskeem. See koosneb teatava hulga (näit. 12) läbi-



Joon. 7-6. Kontaktivaba elektronkommutaator:
1 — sisendid; *2* — üheliste kommutaator; *3* — kümneliste kommutaator; *4* — väljund; *5* — taktiimpulsid; *6* — ventiilid



Joon. 7-7. Pidevalt pöörlev pneumokommutaator:
1 — mootor; *2* — ümberlüliti; *3* — kontaktketas; *4* — rootor; *5* —staator; *6* — rõhu sisendid; *7* — pneumoelektriline muundur; *8* — elektrilised väljundid

ulatuvate avadega *6* staatorist *5* ning rootorist *4*, mis võib need avad järjekorras ühendada staatori tsentraalse avaga. Rootori *4* pöörlemisel saab avadesse *6* juhitavaid väliseid pneumosignaale järjekorras ühendada tsentraalautomaadiga. Kommutaator sisaldab veel tavaliselt abikontaktkettaid (joonisel *2* ja *3*) veomootori *1* töö juhtimiseks ja kommutaatori asendi signaliseerimiseks. Suurema arvu kommutatsioonipunktide puhul võib mitu sellist kommutaatorit lülitada paralleelselt või järjestikku. Pneumokommutaatorite tavaline töökiirus on 20 p/min (1,5 sekundit ühe lülituspunkti kohta). Kommutaatori eelisteks on suur töökindlus ja plahvatusohutus.

Käesoleva ajani väljatöötatud tsentraalautomaatides on kõige sagedamini kasutusel elektromehaanilised kommutatsioonisüsteemid pidevalt pöörleva kommutaatoriga, samuti hermeetiliste releedega. Mõnel juhul kasutatakse kahte paralleelset kommutaatorit: ühte kiiretoimelist signalisatsiooniks ja teist (täpsemat) mõõtmiseks ning registreerimiseks (mis teostub aeglasema tempoga).

4. Digitaalmuundurid

Andurist ja enamasti ka kommutaatorist saadavad signaalid on reeglina analoogkujul, s. o. pideva signaali kujul, mille mõõtmiseks, võrdlemiseks ning registreerimiseks on vajalik nende signaalide muundamine numbrilisse (ehk digitaalkujusse). Seda võimaldavadki digitaalmuundurid. Kasutatavad muundurid erinevad seejuures ühest küljest tehniliste lahenduste poolest, teisest küljest aga kasutatava kodeerimissüsteemi poolest. Lähtesuuruseks on kontrollitava parameetri väärtus teatud ajamomendil (mõõtehetkel), mida lõppkokkuvõttes iseloomustatakse siis teatud numbrilise tulemusena (näit. 346) sõltuvalt valitud ühikuist. Numbrite lõpliku arvu tõttu tekib seejuures ümardamisviga, nn. diskreetsusviga, mis ei ületa poolt tulemuse viimase koha väärtust (näit. $346 \pm 0{,}5$). Sellist mõõtetulemust võib vaadelda mõõdetava (kontrollitava) suuruse koodina, sest koodi all mõistetaksegi üldiselt teatavat sümbolite süsteemi, mis kannab informatsiooni kodeeritud suuruse kohta. Iga üksik koodikombinatsioon koosneb reast koodisümbolitest, mille koguarv iseloomustab koodi pikkust. Erisuguste koodisümbolite hulka

nimetatakse tavaliselt koodialuseks. Mõõtetulemuste ülekanne tehnilises aparatuuris koodide kujul on otstarbekas keerukamates süsteemides, kus tuleb arvestada küllalt suurte ja arvukate häiretega. Need võiksid ülekantavat mõõtetulemust märgatavalt moonutada, kodeeritud kujul häired aga ei sega üldse seni, kuni oleme suutelised antud koodikombinatsiooni veel ära tundma. Koodi häirekindlus sõltub suurel määral erisuguste koodisümbolite hulgast, mistõttu tehnilistes rakendustes on kõige rohkem kasutusel kahendkoodid (harva kolmendkoodid), kus kahte erinevat koodisümbolit võib tinglikult tähistada 0 ja 1. Tegelikkuses võib seda realiseerida näiteks teatava signaali või impulsstunnuse olemasolu või puudumise näol.

Igasugust arvu (näiteks mõõtetulemust) võime vaadelda numbrite abil väljendatud koodina. Soovides väljendada mingit arvu, näiteks 346, kümnendsüsteemis (kümnendkoodis), jaotatakse see osadeks (sajad, kümned, ühed). Siis kirjutatakse: sajad — kolm (arv 3 asetatakse sadade kohale), kümned — neli (arv 4 asetatakse kümnete kohale), ühtesid — 6 (arv asetatakse ühtede kohale). Saame kirjendi 346:

$$346 = 3 \cdot 10^2 + 4 \cdot 10^1 + 6 \cdot 10^0.$$

Toodud kujul väljendab iga number oma suuruse ja asukohaga arvus, mitu korda ja millist arvu 10 astet tuleb soovitud arvu moodustamiseks võtta. Lisaks kümnendsüsteemile (mille aluseks on arv 10 ja tema astmed) tuntakse matemaatikas ka teistsuguseid arvusüsteeme, mille aluseks võib olla mingi teine arv, kuid mille ülesehitusviis on täiesti analoogiline. Automaatikaseadmetes omab suurt tähtsust kahendsüsteem, mille puhul iga arv väljendatakse arvu 2 astmete kaudu.

Nii võib arvu 346 kirjutada kujul (seda saab teha ainsal viisil):

$$346 = 1 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^1.$$

Kui nüüd tulemus analoogiliselt eespoolsega kirjutada lühendatud kujul 101011010, siis saamegi meie arvu kahendsüsteemis. Siin iga number väljendab seda, kui mitu korda vastavat kahe astet tuleb arvu moodustamiseks võtta. Sama tulemus on vaadeldav ühtlasi arvu kahendkoodina.

On ilmne, et kahendkood, võrreldes kümnendkoodiga, on märksa pikem (koodisümbolite üldarv on umbes 3,5 korda

suurem), kuid erisuguseid koodisümboleid on vaid kaks, samal ajal kui kümnendkoodi korral neid on kümme. Seetõttu ongi kahendkood märksa eelistatavam.

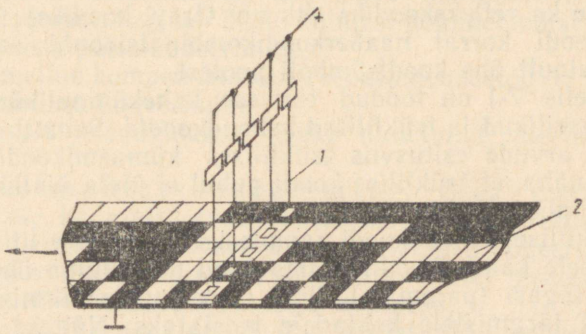
Mõnikord kasutatakse ka nn. kahend-kümnendkoodi, mille puhul kümnendsüsteemilise arvu iga kümnendkoht esitatakse kahendsüsteemis neljakohalise kahendarvu näol (koodigrupina ehk tetraadina). Arvu 346 saab väljendada kahend-kümnendkoodis järgnevalt:

0011 0100 0110.

Kahend-kümnendkood kujuneb koodisümbolite arvu suhtes kahendkoodist pikemaks, kuid üleminek üldtarvitatavale kümnendsüsteemile on märgatavalt lihtsam.

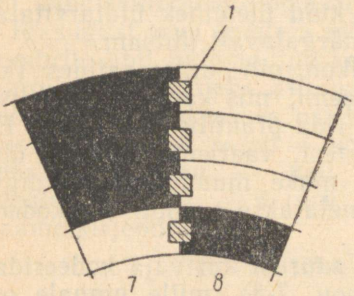
Tihti kasutatakse tsentraalkontrolli automaatides (ka mujal) erilist kodeerimissüsteemi, mis kannab tsüklilise koodi nimetust ja millel on rida praktilisi eeliseid. Et saada ettekujutust neist eelistest, vaatleme lühidalt üht levinud meetodit mehaanilise nihke muundamiseks digitaalkoodi, mida tavaliselt nimetatakse ruumiliseks kodeerimiseks.

Seadme külge, mille nihke suurust on vaja kodeerida, kinnitatakse koodelement (joon. 7-8), mille pinnale on näiteks juhtivate ja isoleeritud piirkondadena kantud kahendkood selliselt, et iga koodelemendi asendi korral **juhtivate ja mittejuhtivate** piirkondade kombinatsioon liikumisele ristsuunas vastab teatavale kahendkoodile. Koodi loenduselemendiks on kontaktharjad, mis koodile vasta-



Joon. 7-8. Ruumilise kodeerimise põhimõtteskeem:
1 — loenduselement; *2* — koodelement

valt sulevad või katkestavad vastavaid elektriahelaid (rakendades või tagastades vastavaid releesid). Kui loenduselemendid on paigutatud veidi ebatäpselt (harjad on liikumise suunas üksteisest veidi nihutatud), siis üleminekul ühe koodikombinatsiooni piirkonnast teise tekib suuri vigu. Nii näiteks üleminekul koodilt 0111 (kümnendsüsteemis 7) koodile 1000 (kümnendsüsteemis 8) võib juhtuda, et esimesele kohale vastav hari juba suleb ahela, ülejäänud kolmele kohale vastavad harjad aga pole veel ahelaid katkestanud (joon. 7-9). Seetõttu on lühikest aega suletud kõik neli ahelat, millele vastab kood 1111 (küm-



Joon. 7-9. Kahendkoodi vigane loendamine:
1 — loendusharjad

nendsüsteemis 15), ning nihke asemel ühe kümnendühiku võrra süsteem registreerib nihke 8 kümnendühiku võrra (15-7), veidi hiljem aga vastassuunalise nihke 7 kümnendühiku võrra. Viga on seega väga suur.

Selliseid vigu võimaldab vältida tsüklíline kood (nimetatakse ka refleksкoodiks ehk nn. Gray' koodiks). Tsüklilise koodi korral naaberkoodikombinatsioonid erinevad alati ainult ühe koodisümboli poolest.

Tabelis 7-1 on toodud esimese kahekümne kümnendarvu harilikud ja tsüklilised kahendkoodid. Samuti on seal antud arvude esitusviis tsüklilises kümnendkoodis. On kerge näha, et tsüklilise koodi puhul ei ületa ülalkirjeldatud tüüpi viga ühte ühikut.

Tsüklilise kahendkoodi saamiseks on vajalik liita arvu tavalisele kahendkoodile sama kood nihutatuna ühe koha võrra tagasi (paremale), ilma et seejuures liitmisel ülekannet järgmistele kohtadele teostataks. Näiteks (pidades silmas, et kahendsüsteemis kehtib $1+1=10$, kus viimases tulemuses «üks» tähendabki ülekannet) on arvu 7

Tabel 7-1

Kümnendkood	Tsükliline kümnendkood	Kahendkood	Tsükliline kahendkood	Kümnendkood	Tsükliline kümnendkood	Kahendkood	Tsükliline kahendkood
1	01	00001	00001	11	18	01011	01110
2	02	00010	00011	12	17	01100	01010
3	03	00011	00010	13	16	01101	01011
4	04	00100	00110	14	15	01110	01001
5	05	00101	00111	15	14	01111	01000
6	06	00110	00101	16	13	10000	11000
7	07	00111	00100	17	12	10001	11001
8	08	01000	01100	18	11	10010	11011
9	09	01001	01101	19	10	10011	11010
10	19	01010	01111	20	20	10100	11110

kahendkood 00111, seega tsükliline kahendkood leitakse arvutusega

$$\begin{array}{r} 00111 \\ +\ 0011(1) \\ \hline 00100 \end{array}$$

Digitaalmuundusmeetodid. Käesoleval ajal tuntakse paljusid meetodeid pidevate suuruste muundamiseks numbrilisele kujule. Taolised muundurid on vajalikud ja kasutusel elektronarvutites, koodimpulss-sidesüsteemides, telemõõte- ja telejuhtimissüsteemides.

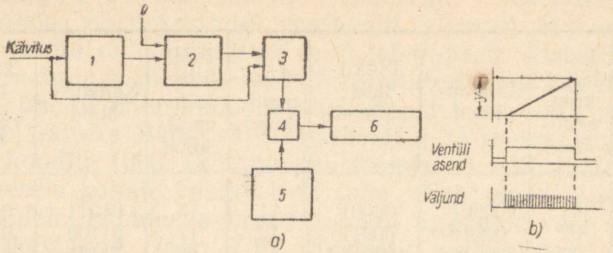
Muundurite tööpõhimõte, sõltumata muundatava signaali iseloomust, tugineb ühele kolmest põhimeetodist:

1) kestusimpulss-kodeerimine;
2) astmeline kompensatsioon («kaalumismeetod»);
3) ruumiline kodeerimine.

Järgnevalt vaadeldakse kõiki nimetatud meetodeid eraldi.

Kestusimpulss-kodeerimine. Seda meetodit nimetatakse ka ajaintervall-vaheastmega kodeerimiseks. Meetodi olemus seisneb selles, et tekitatakse kodeeritava suurusega võrdeline ajaintervall, mille kestel genereeritakse stabiilse kordussagedusega impulsse.

Joonisel 7-10 on näidatud ühe sellist tüüpi muunduri põhimõtteskeem, kus kasutatakse hammaspingega võrdlussõlme. Skeem koosneb hammaspingegeneraatorist *1*, võrd-

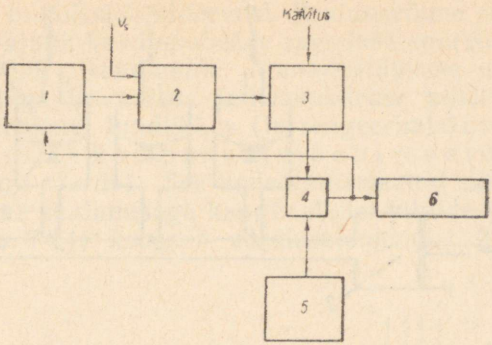


Joon. 7-10. Kestusimpulssprintsiibiline kodeerimisseade:
a — blokkskeem; *b* — ajadiagramm; *1* — hammaspingegeneraator; *2* — võrdluslüli; *3* — triger; *4* — ventiil; *5* — impulssgeneraator; *6* — loendur

luslülist *2*, trigerist *3*, impulssventiilist *4*, impulssgeneraatorist *5* ja loendurist *6*. Käivitusimpulsi järel tekitab generaator lineaarselt kasvava hammaspinge, mis antakse võrdluslülile. Võrdluslüli teise sisendisse antakse mõõdetav signaal (pinge). Samal ajal avab käivitusimpulss impulssventiili *4* ning loendurisse lähevad impulsid generaatorist *5*. Kui hammaspinge hetkväärtus võrdub mõõdetava pingega, suletakse impulssventiil *4* ning impulsside andmine loendurisse lõpeb. Kui hammaspinge on täpselt lineaarne, siis on ka impulssventiili *4* avatud oleku aeg (ajaintervall) ja järelikult ka loendurisse (generaatorist *5*) minevate impulsside üldarv proportsionaalne mõõdetava pinge suurusega. Sellise muunduri töötamistäpsus sõltub peamiselt hammaspinge lineaarsusest, üldine lahutusvõime (diskreetsusviga) aga stabiilse sagedusega impulssgeneraatori sagedusest. Praktiliselt on taolise muunduriga saavutatav täpsus kuni 0,1 %.

Kestusimpulssmuunduri (astmeliselt suureneva võrdluspingega muunduri) blokkskeem on toodud joonisel 7-11. Selles muunduris võrreldakse kodeeritavat pinget astmeliselt suureneva võrdluspingega, mida saadakse vastavast generaatorist *1*. Kui võrdluspinge suureneb ühe astme võrra, antakse loendurisse üks impulss. Pärast seda, kui astmeliselt suurenev pinge saab võrdseks mõõdetavaga, impulsside ülekanne loendurisse katkestatakse.

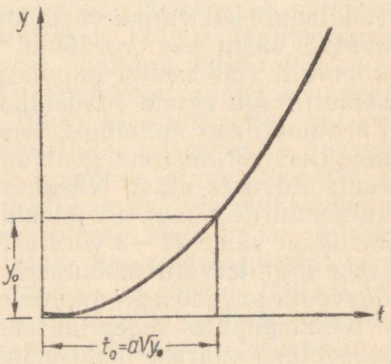
Kestusimpulss-kodeerimist saab kasutada ka mittelineaarsete andurite karakteristikute lineariseerimiseks. Sel juhul kasutatakse hammaspingegeneraatori asemel erilist generaatorit, mis tekitab anduri karakteristiku eba-



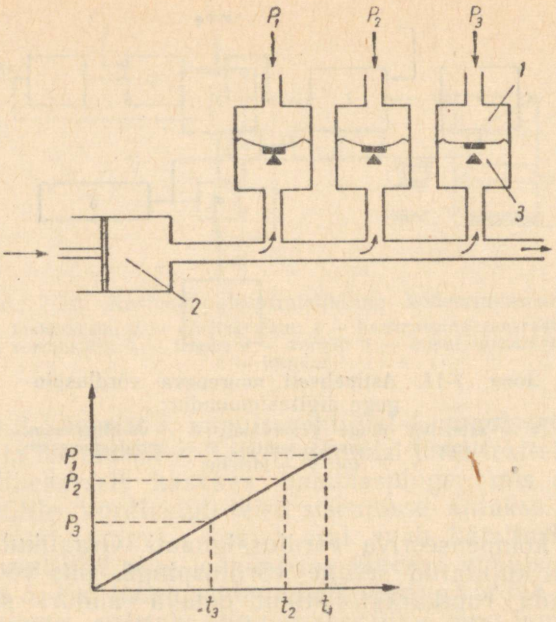
Joon. 7-11. Astmeliselt suureneva võrdluspingega digitaalmuundur:
1 — astmelise pinge generaator; *2* — võrdlusskeem; *3* — klapp; *4* — impulss-ventiil; *5* — impulssgeneraator; *6* — loendur

ühtlust kompenseeriva võrdlussignaali. Graafikul (joon. 7-12) on kujutatud selline võrdluspinge, mis võimaldab ühtlustada ruutkarakteristikut omava anduri signaali. Sama meetodiga võib korrigeerida näiteks termopaaride karakteristikute ebalineaarsust.

Kestusimpulss-kodeerimist kasutatakse ka pneumaatilistes mõõtesüsteemides. Joonisel 7-13 on toodud pneumaatilise kodeerimisseadme skeem. Seade koosneb lineaarselt suureneva rõhu generaatorist *2*, elastse membraaniga diferentsiaalmanomeetrist *1* ning kontaktseadmeist *3*. Võrd-



Joon. 7-12. Ruutkarakteristikut ühtlustav võrdluspinge



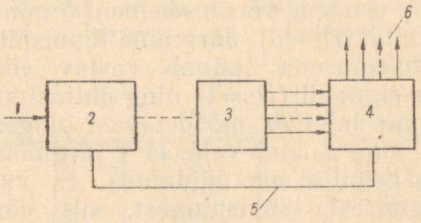
Joon. 7-13. Pneumaatiline kestusimpulsskodeerimisseade

lusdiferentsiaalmanomeetrite ülemistesse kambritesse suubuvad mõõdetavad rõhud p_i, alumistesse aga generaatori kasvav võrdlusrõhk. Rõhkude võrdsustumise hetkel membraan deformeerub ja kontakt lahutub. Kui kontakt tüürib (analoogiliselt varem vaadelduga) ventiili, siis on ventiili avatud oleku aeg võrdeline kontrollitava rõhuga. Ajaintervalli võib mõõta impulssgeneraatori ja loenduri abil samuti nagu varem vaadeldud elektronmuundurite juures. Pneumaatilises muunduris kasutatakse sageli sellist pneumaatilist võrdlusrõhu generaatorit, mille rõhu muutus on ruutsõltuvuses ajast. Niisugune muundur on eriti sobiv kuluandurite puhul. Et pneumaatiliste muundurite toimekiirus on väike (1—2 võrdlustsüklit minutis), siis kasutatakse ajaintervalli mõõtmisel tavaliselt tööstusliku vahelduvvoolu sagedusega impulsse.

Kestusimpulss-kodeerimissüsteemi eraldusvõime sõltub mõõdetava suuruse maksimaalväärtuse puhul loendurisse

antavast impulsside üldarvust. Eraldusvõime suurendamiseks on vajalik kas impulsside sageduse suurendamine või võrdlustsükli pikendamine. Muundustäpsuse määrab aga võrdluspinge lineaarsus ja kasvukiiruse püsivus, samuti võrdluselemendi tundlikkus (ja reageerimiskiirus).

Astmelise kompensatsiooni meetod («kaalumismeetod»). See kodeerimismeetod sarnaneb teatava eseme kaalumisega kangkaaludel vihtide abil. Muundur (joon. 7-14) koosneb võrdluselemendist *2*, juhtseadi-



Joon. 7-14. Astmelise kompensatsiooniga muunduri põhimõtteskeem:
1 — sisendisignaal; *2* — võrdluselement; *3* — juhtseadis; *4* — dešifraator; *5* — dešifraatori väljundipinge; *6* — täppispingete kogum

sest *3* ja dešifreerimissõlmest (dešifraatorist) *4*. Mõõdetavat pinget võrreldakse täppispingete summadega, millest igaüks on järgnevast kaks korda suurem, moodustades rea $2^n u_0, 2^{n-1}u_0, 2^{n-2}u_0 \ldots 2u_0, u_0$.

Analoogiliselt sellega, kuidas kaalumisel asetatakse kaalukausile vihte nende vähenemise järjekorras, summeeritakse ka siin võrdlemisprotsessi käigus täppispingeid nende vähenemise järjekorras. Esialgu lülitatakse sisse suurim täppispinge $2^n u_0$. Kui mõõdetav pinge on sellest suurem, jääb vastav pingeallikas sisselülitatuks, kui aga väiksem, siis lülitatakse pingeallikas uuesti välja. Järgnevalt lülitab juhtlülitus sisse järgmise pingeallika $2^{n-1}u_0$. Kui eelmisel tsüklil jäi pingeallikas $2^n u_0$ sisselülitatuks ja nüüd mõõdetav pinge ületab summa $2^n u_0 + 2^{n-1}u_0$, siis ka allikas $2^{n-1}u_0$ jääb sisselülitatuks. See protsess kestab seni, kuni kõigi pingeallikate lisamisega on võrdlus läbi viidud.

Vaadeldud muundusmeetodi täpsus sõltub võrdluselemendi täpsusest ja täppispingeallikate stabiilsusest.

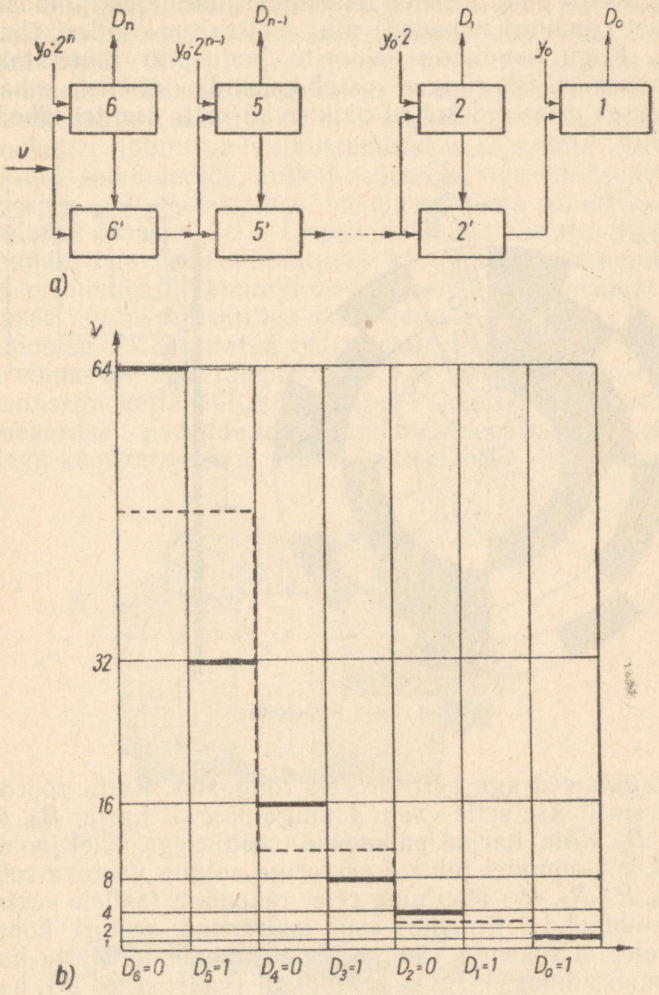
Kaskaadmeetod. See meetod on analoogiline eespool vaadelduga ning erineb vaid selle poolest, et dešifreerimissõlm puudub ning selle asemel iga võrdlustsükli järel mõõdetavast pingest lahutatakse vastav täppispingeallikas.

Selle muunduri skeem on näidatud joonisel 7-15 ning joonisel 7-15, *b* tuuakse arvu 43 muundusdiagramm kahendkoodi muundamisel. Algul võrreldakse mõõdetavat pinget suurima täppispingega (joonisel 64 ühikut). Kuna vaadeldaval juhul see ületab mõõdetava pinge, siis skeem seda ei arvesta ning esimene võrdluselement *6* mingit väljundisignaali ei tekita ($D_6=0$). Järgmine täppispinge on 32 V. Võrdlemise tulemusena annab vastav võrdluselement oma väljundis signaali ($D_5=1$) ning ühtlasi käivitab lahutuselemendi, mis lahutab mõõdetavast pingest 43 V täppispinge 32 V ning suunab vahe 11 V järgmisesse võrdluselementi *4* (skeemil ei ole näidatud). Et vahe 11 V on väiksem järgmisest täppispingest, siis võrdluselement annab väljundis nullsignaali ($D_4=0$) ning 11 V suunatakse lahutamiseta võrdluselementi *3*, kus seda võrreldakse täppispingega 8 V jne. Selle protsessi lõpptulemusena saadakse võrdluselemendi väljunditel mõõdetava signaali 43 V kahendkood 0101011.

Antud tüüpi muunduris võib kasutada üht lahutus- ja võrdluselementi ning kommutatsiooniorganit. Viimane määrab ka skeemi toimekiiruse. Muundustäpsus on ka siin määratud täppispingete stabiilsusega ning võib olla kuni 0,1%.

Ruumilise kodeerimise meetod. Seda meetodit kasutatakse tsentraalkontrolli automaatides väga sageli. See võimaldab mehaaniliste suuruste otsest digitaalmuundamist ilma vahepealsete elektriliste suurusteta. Seejuures võib muundurite täpsus ja lahutusvõime olla vähemalt suurusjärgu võrra parem elektriliste muundurite vastavatest omadustest. Kõige sagedamini kasutatakse meetodit pöördenurga digitaalmuundamisel, kus muunduri tähtsaimaks sõlmeks on koodketas, mille järgi tihti ka muundusmeetodit nimetatakse. Põhimõtteliselt on aga muundamine võimalik ka lineaarnihke korral.

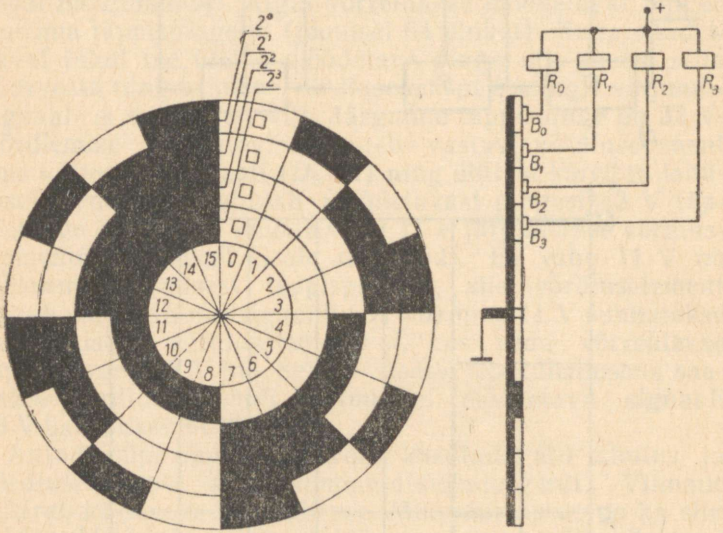
Koodketta pinnale kantakse üksikute kontsentriliste rõngaste kujul kindla süsteemi kohaselt koodi jäljend. Ühe sellise neljakohalise kahendkoodiga ketta kujutis on toodud joonisel 7-16. Oletame, et ketas on jäigalt kinnita-



Joon. 7-15. Kaskaadmeetodil töötav muundur:

a — muunduri blokkskeem; *b* — muundusdiagramm; *U* — sisendipinge; *1, 2, 3 . . . 6* — võrdluslülid; *2', 3' . . . 6'* — lahutuslülid; y_0; $2y_0 \ldots 2^n_{y_0}$ — täppispinged; $D_0, D_1 \ldots D_n$ — väljundisignaalid

tud võllile, mille pöördenurk on vaja esitada digitaalkujul. Ketta pind koosneb üksikutest juhtivatest pinnasektoritest (joonisel tumedad) ning isoleeritud osadest (heledad). Kogu koodketta sektorite jaotuspilti nimetatakse koodmaskiks. Iga rõngas vastab kahendkoodi ühele kohale, kusjuures esimesed kohad paiknevad ketta tsentri lähedu-



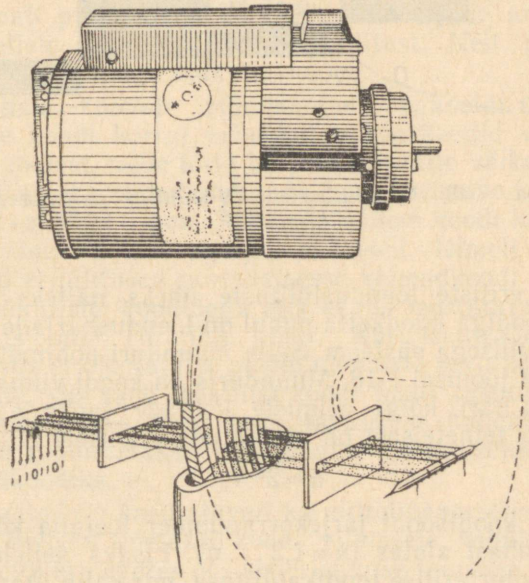
Joon. 7-16. Koodketas

ses, tagumised aga perifeersetes rõngastes. Ketta pöördumisel surutakse selle vastu 4 paigalpüsivat harja: B_0, B_1, B_2 ja B_3. Kõik harjad paiknevad raadiusega ühel joonel. Harja kokkupuutel juhtiva sektoriga sulgub vastava relee R (R_0, R_1, R_2, R_3) ahel ning relee rakendub (sellele vastab koodisümbol 1). Kui hari asub isoleeritud sektori kohal, siis relee ei rakendu (annab koodisümboli 0). Ketta hari B_0 annab viimase koha koodisümboli (väärtusega 2^0), hari B_1 eelviimase koha (väärtusega 2^1) jne. Tulemusena saame releede väljundist otsekohe vastava koodi paralleelkujul (kõik koodisümbolid saadakse üheaegselt).

Kuigi kontaktharjadega süsteem oma lihtsuse ja odavuse tõttu on väga levinud, pole see siiski alati otstarbekas oma puuduste tõttu, nagu ketta pinna mustumine,

ketta ja harjade (eriti servade) kulumine, mille tulemuseks on ebakindel kontakt. Kontaktketast on võimalik asendada fotoelektrilise loendussõlmega. Sel puhul valmistatakse ketas läbipaistvast materjalist ning kantakse peale koodmask (näiteks fotograafilisel menetlusel) läbipaistmatute rõngassektorite kujul. Valguskiir, mis läbib sellise koodketta, juhitakse valgustundlikele tajuritele (fotoelemendid, fotodioodid), milleit saadavad signaalid juhitakse releedesse. Fotoelektrilise loendussõlmega koodketas on näidatud joonisel 7-17. Lisaks fotoelektrilistele digitaalmuunduritele on üksikjuhtudel kasutusel ka muundurid, kus mehaaniliste kontaktide sulgumist ja avanemist tüüritakse nõutava profiiliga nukk-ketaste abil.

Joonisel 7-16 esitatud neljakohalise koodiga ketta eraldusvõime on 1/16 täispöördest. Iga täiendava koodrõnga lisamisega ketta välisküljele on võimalik eraldusvõimet kahekordselt parandada. Enamikul tänapäeva harikontaktidega koodketastel on seitse kahendkohta (eraldusvõime

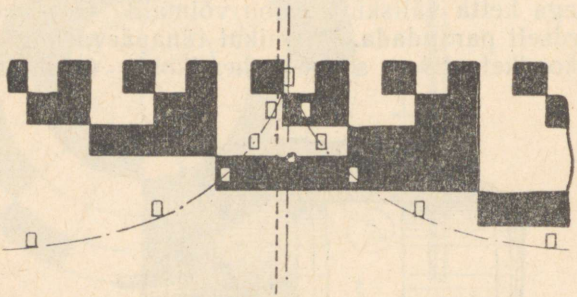


Joon. 7-17. Fotoelektrilise loendusmehhanismiga koodketas

seega $^1/_{128}$). Fotoelektrilise koodketta juures võib aga ühele koodkettale mahutada kuni 16 kahendkohta (eraldusvõime 1:83072 ehk ca $^1/_4$ nurgaminutit). Veel suurema eraldusvõime saavutamine on põhimõtteliselt võimalik mitme omavahel reduktoriga ühendatud koodketta kasutamisega.

Koodi täpseks fikseerimiseks peavad kontaktharjad olema väga õhukesed ning paiknema täpselt ühel joonel. Tegelikkuses sellist olukorda muidugi ei esine ning tulemuseks on vead, mis võivad olla küllalt suured ning mille tekke põhjusi selgitati juba eespool (vt. joon. 7-9). Tekkivaid vigu on võimalik vältida kahel meetodil:

1) koodi eriliste loenduslülituste meetodil;
2) tsüklilise koodi meetodil.



Joon. 7-18. Loendusharjade V-kujulise paigutusega koodketas

Koodi eriliste loenduslülituste üheks näiteks tavalise kahendkoodiga koodketta puhul on loendusharjade V-kujulise paigutusega süsteem. Selle muunduri põhimõtteskeem on toodud joonisel 7-18. Muunduris on koodi viimase koha jaoks üks hari, kõigi eelmiste kohtade jaoks aga kaks harja, mis teineteisest on nihutatud kaugusele

$$\alpha = 2^{k-1},$$

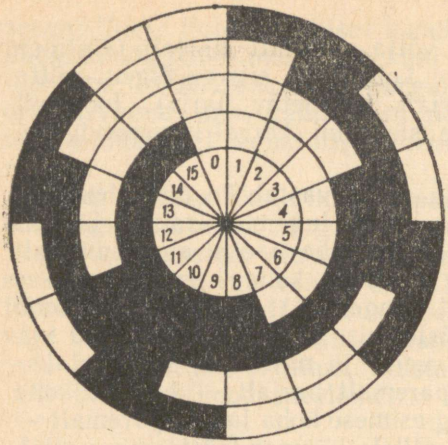
kus k on koodtsooni järjekorranumber loetuna kõige viimasest kohast alates ($k = 1,2 \ldots n$). Lisaks sellele sisaldab muundur erilise loogikalülituse, mis valib igast harjapaarist selle, millelt võetav lugem ei saa põhjustada suurt viga. Kui antud kohale järgnevas oli koodisümbol 1, siis

antud koha lugem tuleb võtta vasakult harjalt («hilinev hari»); kui aga järgmine koht oli 0, siis on õigem võtta lugem parempoolselt harjalt («ennetav hari»). Jooniselt 7-18 võib näha, et sellise süsteemi korral lugemisvigu ei teki.

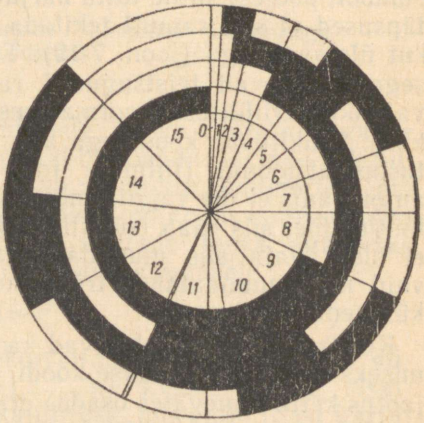
Kui viimase koha harja asend vastab koodisümbolile 1, siis võetakse eelviimase koha lugem vasakult harjalt (lugem on 0), sellele eelneva koha jaoks aga paremalt harjalt (lugem 0) ning esimese koha lugem saadakse samuti paremalt harjalt (lugem 1). Nii saadakse kood 1001, millele kümnendsüsteemis vastab 9. Kui nüüd viimase koha hari nihkub veidi ja näitab 0, siis võetakse eelviimase koha lugem paremalt harjalt — 1, teise koha lugem vasakult — 0 ning esimese koha lugem paremalt — 1. Saadakse kood 1010, millele kümnendsüsteemis vastab 10. Seega võib viimase koha koodharja ebatäpne asend anda vea ühe viimase koha ühiku ulatuses, ülejäänud harjade asendi väikesed ebatäpsused aga viga ei tekita (nähtub jooniselt). See meetod on iseenesest küllalt lihtne, kuid nõuab praktiliselt kahekordset harjade arvu ning lisaks sellele veel erilist loogikalülitust. Neil põhjustel eelistatakse enamasti tsüklilisi koode.

Tsükliliste koodide põhiomadusi vaadeldi eespool. Tsüklilise koodi korral erinevad naaberkoodid vaid ühe sümboli poolest, mille tõttu harjade asendite väikesed ebatäpsused ei saa samuti tekitada koodi viimase koha ühikut ületavat viga (joon. 7-19). Tsüklilise koodi kasutamisega kaasnevad teistsugused raskused. Nimelt on seal vajalikud erilülitused normaalsesse kahendkoodi üleminekuks. Tsükliliste koodidega aga ei ole teostatavad arvutusoperatsioonid (liitmine jne.). Kui tsentraalkontrolli automaadis ei ole vajalik mõõtetulemuste arvutustehniline töötlemine, siis saab tsüklilisi koode hästi kasutada. Neid ei olegi vaja siis muundada tavaliseks kahendkoodiks, vaid nad muundatakse trükiseadme juhtimiseks otseselt kümnendkoodiks.

Koodkettad on kasutatavad ka mittelineaarseks kodeerimiseks. Selleks võetakse koodi viimasele kohale vastav jaotus ketta erinevates osades erisuguse laiusega, mis võimaldab realiseerida mistahes mittelineaarset karakteristikut. Joonisel 7-20 on toodud koodketta skeem, mis võimaldab kodeerida pöördenurga ruutjuurt.



Joon. 7-19. Tsüklilise koodiga koodketas



Joon. 7-20. Ruutkarakteristikulise koodiga koodketas

Kõigi vaadeldud kodeerimismeetodite võrdlus võimaldab teha rea järeldusi.

1. Ruumilise kodeerimise meetod on kõige lihtsam. Seepärast on ka see kodeerimissüsteem tsentraalkontrolli automaatides seni kõige rohkem levinud. Samal ajal on mehaanilised süsteemid suhteliselt väikese töökindlusega, mistõttu elektroonseid digitaalmuundureid tuleb lugeda perspektiivsemaiks.

2. Väga perspektiivne kodeerimismeetod on kestusimpulsssüsteem, mis ei vaja elektromehaanilist vahemuundamist. Seda tüüpi muundurite täpsus ulatub 0,1%-ni.

3. Astmelise kompensatsiooni meetodil on suur toimekiirus, kuid seda on raske realiseerida praktikas.

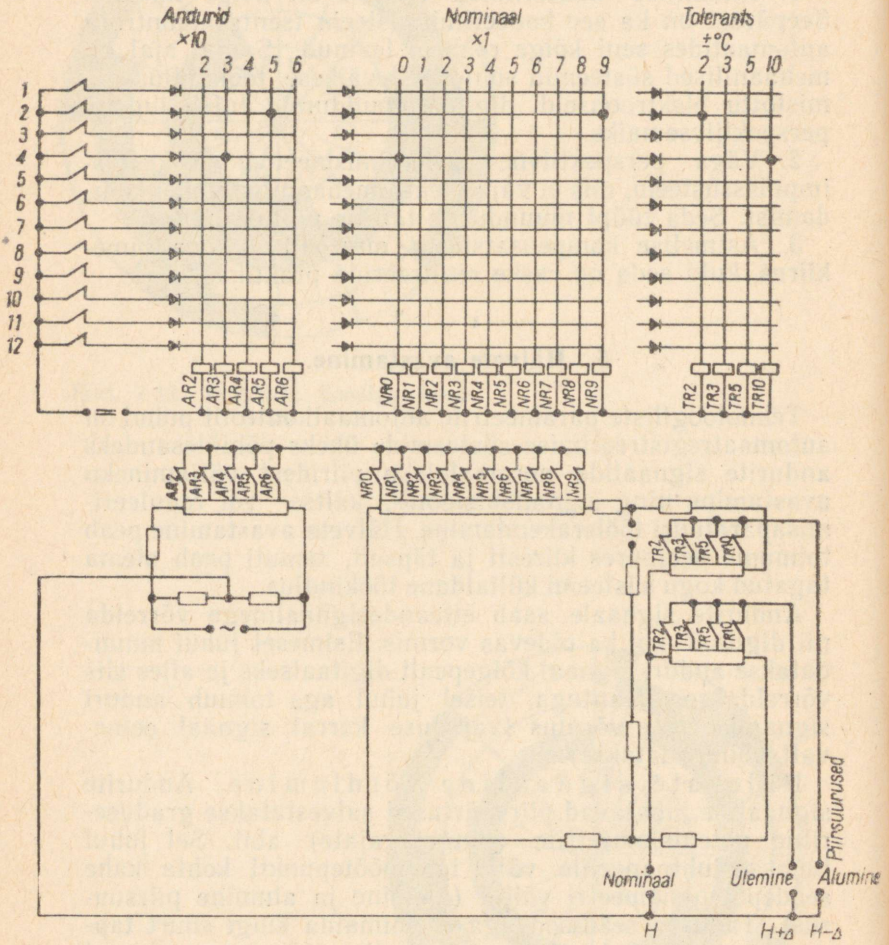
5. Hälvete avastamine.

Tehnoloogiliste parameetrite automaatkontrolli puhul on automaatregistreerimise süsteemide üheks põhiülesandeks andurite signaalide normaaloleku piiridest väljamineku avastamine ning signalisatsiooni-, kaitse- või reguleerimisaparatuuri töölerakendamine. Hälvete avastamine peab toimuma seejuures kiiresti ja täpselt, samuti peab olema tagatud kogu süsteemi küllaldane töökindlus.

Andurite signaale saab etteandesignaalidega võrrelda nii digitaal- kui ka pidevas vormis. Esimesel juhul muundatakse anduri signaal kõigepealt digitaalseks ja alles siis võrreldakse etteantuga, teisel juhul aga toimub anduri signaali otsene võrdlus (vajaduse korral signaal eelnevalt võimendatakse).

P i d e v a t e s i g n a a l i d e v õ r d l e m i n e. Andurite signaalide lubatavad piirväärtused salvestatakse graduee-ritud potentsiomeetrite (pingejagajate) abil. Sel juhul tuuakse juhtpaneelile välja iga mõõtepunkti kohta kahe seadepotentsiomeetri võllid (ülemine ja alumine piirsuurus). Taolised seadmed aga ei võimalda kuigi suurt täpsust, samuti läheb süsteem andurite suure arvu korral kohmakaks. Otstarbekam on nn. võrdluspingete magasini kasutamine, mis kujutab endast teatavat täppispingete kogumit. Järjekordse anduri kontrolli puhul kujundatakse nende täppispingete abil automaatselt võrdlussignaal, mis vastab antud seadesuurusele.

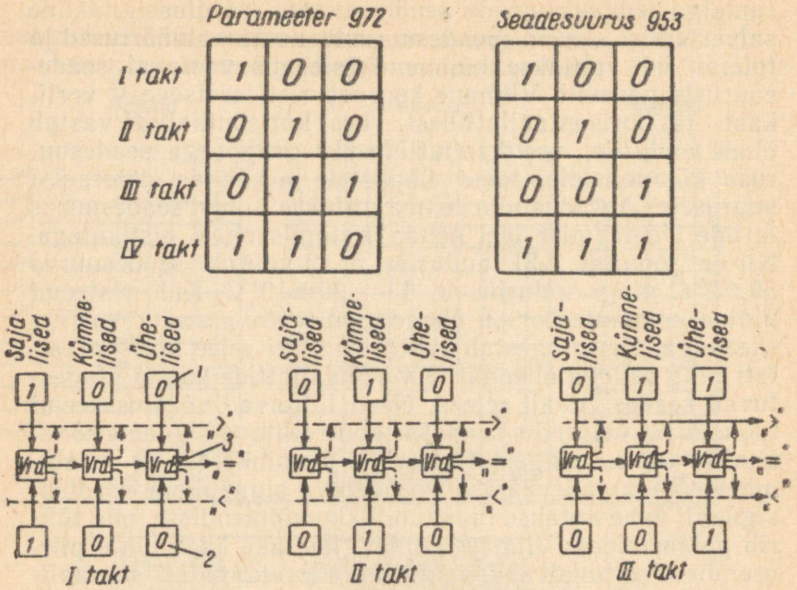
Joonisel 7-21 on kujutatud mitmesuguse muutumistole-



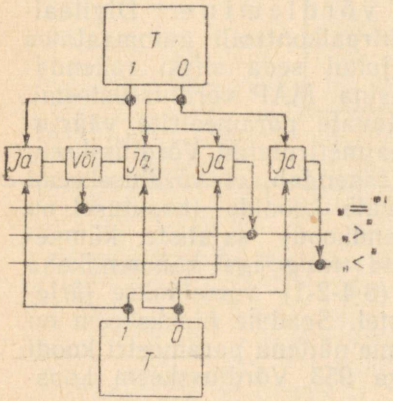
Joon. 7-21. Seadesuuruste salvestamise põhimõtteskeem

rantsiga temperatuuride seadesuuruste võrdlussignaalide salvestamise skeem. Seadesuuruste nominaalväärtused ja tolerantsid valitakse kümnendsüsteemis vastaval seadesuuruste paneelil. Viimane koosneb risti asetsevaist vertikaal- ja horisontaallattidest. Iga horisontaallatt vastab ühele andurile, vertikaallattide üks grupp aga seadesuuruse kümnelistele, teine ühelistele ja kolmas tolerantsi suurusele. Antud andurile määratakse sobiv seadesuurus lattide ühendamise teel nende ristumiskohas pistikutega. Nii on joonisel 7-21 andurile nr. 2 valitud seadesuurus $59 \pm 2°$ C ning andurile nr. 4 — $30 \pm 10°$ C. Kui süsteemi üldine kommutaator on ühendanud teatava anduri mõõteskeemiga, siis pingestab vastav anduri relee horisontaallati ning sellega ühendatud vertikaallattide kaudu pingestuvad seadesignaali releed. Need lülitavad võrdlusskeemi tööle nii, et väljundis saadakse kontrollitava signaali nominaalile vastav pinge (H), samuti ülemine ($H+\Delta$) ja alumine ($H-\Delta$) piirväärtus. Mõõdetava signaali ja võrdlussignaali vahe antakse faasitundlikku võimendisse, mis tüürib polaarreleed. Viimase liikuv kontakt jääb ühte piirasendisse sõltuvalt sellest, milline võrreldavatest signaalidest on suurem. Töökiiruse tõstmiseks kontrollitakse ülemist ja alumist piirsuurust vastavate võimendite abil. Edasi on vajalik veel lihtne loogikalülitus signalisatsiooniskeemi käivitamiseks juhul, kui parameeter on väljunud normaalsetest piiridest (on väiksem alumisest piirväärtusest või suurem ülemisest). Võrdlusaeg ei ületa seejuures 0,1 s. Kirjeldatud võrdlusskeem on kasutusel mõningates kodumaistes kontrolliautomaatides (MAPC jt.).

Digitaalsignaalide võrdlemine. Digitaalsignaalide võrdlemine on tsentraalkontrolli automaatides vähem levinud, kuigi mõnel juhul seda siiski rakendatakse. Vaatleme näitena masina MAP võrdlussüsteemi. Selles salvestatakse kontrollitavate parameetrite väärtused ja ka piirseadesuurused magnettrumlile. Võrdlusskeem on järjestik-paralleelne. See tähendab, et võrdlusskeemi antakse üheaegselt võrreldavate koodide (kasutusel on kolmekohaline kahend-kümnendkood) sajaliste, kümneliste ja üheliste koodisümbolid ning iga kümnendkoha kahendkoodi üksiksümboleid (8-4-2-1) võrreldakse järjekorras nelja võrdlustakti kestel. Seadme blokkskeem on näidatud joonisel 7-22. Vaatleme näitena parameetri koodi 972 võrdlemist seadesuurusega 953. Võrdlusskeem koos-



Joon. 7-22. Digitaalse võrdlusskeemi blokkskeem



Joon. 7-23. Võrdluselemendi loogikaskeem: *T* — trigerid; «JA»- ning «VÕI»-loogikalülid

neb kolmest registrist kontrollitava parameetri *1* salvestamiseks, kolmest registrist *2* seadesuuruse salvestamiseks ja kolmest võrdlusskeemist *3*. Esimesel taktil võrreldakse iga kümnendkoha kahendkoodi esimesi koodisümboleid. Kõigepealt võrreldakse sajaliste koodisümboleid. Kui siin kontrollitava parameetri sümbol on «0», seadesuurusel aga «1», siis tekib signaal väljundis «väiksem». Kui sümbolid on vastupidised, saadakse signaal väljundis «suurem», ning kui mõlemad koodisümbolid on ühesugused, tekib signaal väljundis «võrdne», millega võrdlusskeem jääb edasiseks võrdlemiseks tööle. Teisel taktil võrreldakse kõigi kahendkoodide teisi koodisümboleid. Vaadeldavate numbrite korral saadakse mõlemal juhul signaal «võrdne». Kolmandal taktil võrreldakse kahendkoodide kolmandaid koodisümboleid. Antud juhul on kontrollitava parameetri kümneliste kahendkoodi sümbol «1», seadesuurusel aga «0». Selle tulemusena tekib signaal «suurem» ning võrdlusskeemi edasine töö katkeb. Masinas MAP on kasutusel elektronvõrdlusskeem. Võrdluselemendi täpsem loogikaskeem on näidatud joonisel 7-23. Sellega on väga sarnane ka masinas MAPC-100 kasutatav võrdlusskeem, mis on realiseeritud releede abil.

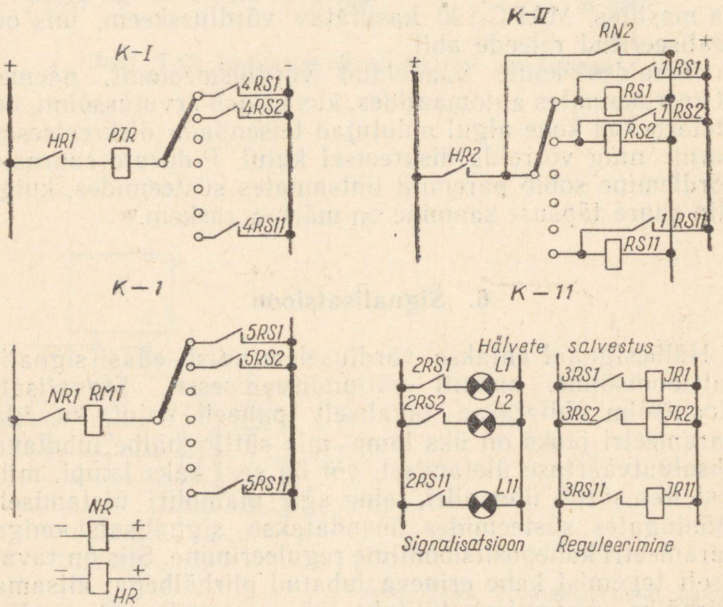
Võrreldes kahte vaadeldud võrdlusmeetodit, näeme, et keerukamates automaatides, kus esineb arvutussõlmi, on otstarbekas kohe algul muutujad teisendada diskreetsesse vormi ning võrrelda diskreetsel kujul. Pidevate suuruste võrdlemine sobib paremini lihtsamates süsteemides, kuigi siin suure täpsuse saamine on märksa raskem.

6. Signalisatsioon

Hälbesignaal antakse võrdluselemendist edasi signalisatsioonisõlme, samuti väljundiseadisesse. Signalisatsioonisõlm ehitatakse tavaliselt paneeli kujul, kus iga parameetri jaoks on üks lamp, mis süttib hälbe lubatava absoluutväärtuse ületamisel, või on seal kaks lampi, millest üks süttib ülempiiri, teine aga alampiiri ületamisel. Mõningates süsteemides ühendatakse signalisatsiooniga parameetri kahepositsiooniline reguleerimine. Siis on tavaliselt tegemist kahe erineva lubatud piirhälbega: kitsama piirhälbe ületamisel lülitub töösse reguleerimisseadis, laiema piirhälbe korral aga avariisignalisatsioon. Võrd-

luselement lülitab töösse ka trükiseadme, millega normist väljaläinud parameetri väärtus trükitakse punase värviga registratsiooniplangile. Pärast parameetri normaalasendi taastamist registreeritakse parameeter jälle, nüüd aga juba musta värviga. Seetõttu on vajalik ette näha hälbe salvestamise võimalus masinas. Vastasel korral trükitakse normist väljaläinud parameeter iga mõõtetsükli käigus mitu korda, kuni üle lubatud piiri olev hälve pole likvideeritud. Hälbe salvestamiseks mõningais masinais kasutatakse erilisi salvestusseadmeid, enamasti aga on hälvete salvestajaks signalisatsioonisõlm.

Joonisel 7-24 on kujutatud releede abil lahendatud hälvete signalisatsiooni ja salvestamise skeem. Võrdluselemendist saabuv hälbesignaal rakendab hälberelee *HR*. Selle üks kontakt *HR1* rakendab punasevärvilise trükiseadme relee *PTR*, teine kontakt *HR2* aga kommutaatori kaudu vastava parameetri hälbe salvestusrelee *RS1* ... *RS11*. Viimane blokeerub kontakti *1RS1* abil. Kommutaa-



Joon. 7-24. Hälvete signalisatsiooni ja salvestamise skeem

tori kontaktväli *K-I* ennetab mõningal määral kontaktvälja *K-II*, millest tingituna trükirelee *PTR* rakendub veidi varem kui salvestusrelee *RS* (*RS1* ... *RS11*), kontakt *2RS1* suleb signaallambi L_1 toiteahela, kontakt *3RS1* rakendab juhtrelee *1R1* ning kontakt *4RS1* tagastab trükirelee *PTR*. Parameetri tagastumisel normaalsetesse piiridesse sulgub kontakt *NR1* ning toimub parameetri väärtuse mustavärviline trükkimine. Kontakt *RN2* lühistab relee *RS1* mähise ning see tagastub, tagastades relee *1R1* ning lülitades välja signaallambi L_1.

7. Väljundiseadmed

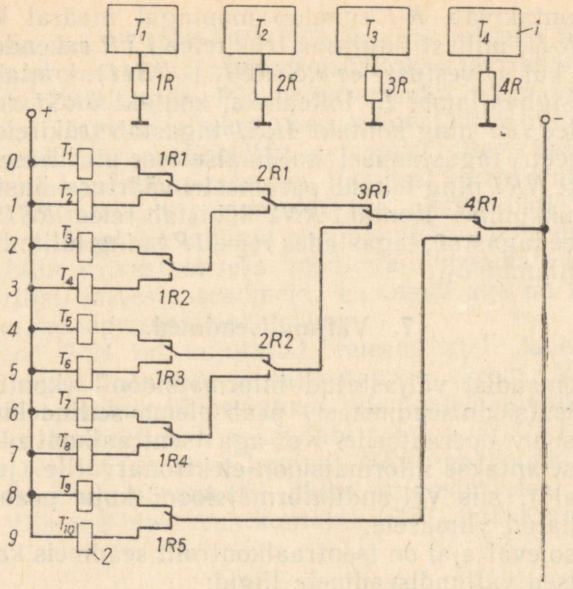
Automaadist väljastatud informatsioonil (kontrolli- ja signalisatsiooniseadmetest) peab olema selline kuju, mis oleks sobiv operaatorile. Kui aga tsentraalkontrolli automaadist antakse informatsioon elektronarvutile (juhtimismasinale), siis väljundiinformatsiooni kuju peab olema kohandatud viimasele.

Käesoleval ajal on tsentraalkontrolli seadmeis kasutusel järgmised väljundiseadmete liigid:

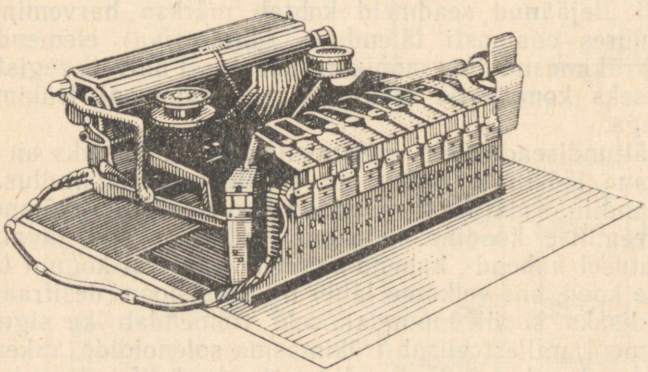
1. automaattrükimasinad;
2. linttrükimasinad;
3. digitaalindikaatorid;
4. üksikute parameetrite funktsionaalregistraatorid;
5. lint- ja kaartperforaatorid, magnetsalvestid jne.

Kõige sagedamini kasutatakse automaattrükimasinaid, kõiki ülejäänud seadmeid kohtab märksa harvemini ja seejuures enamasti täiendava (dubleeriva) elemendina. Linttrükimasinad on mõnikord kasutusel hälvete registreerimiseks komplektis tsüklilise registratsiooni trükimasinatega.

Väljundiseadmetele esitatavateks põhinõueteks on küllaldane töökiirus, lihtsus ja ekspluatatsioonikindlus. Et väljundiinformatsioon registreeritakse reeglina kümnendsüsteemilise koodina, masinas endas on aga tavaliselt kasutusel kahend-, kahend-kümnendkood või koguni tsükliline kood, siis eelkõige läbib informatsioon dešifraatori, mis lisaks koodi muundamisele võimendab ka signaali tasemeni, millest piisab trükimasina solenoidide rakendamiseks. Joonisel 7-25 on näidatud releedešifraatori skeem, mis võimaldab kahend-kümnendkoodi muundada kümnendkoodiks. Vastavalt kahendkoodile rakenduvad sisendi-



Joon. 7-25. Releedešifraatori skeem:
1 — kahendtetraadi salvestusregister; *2* — trükiseadme solenoidid; *1R*, *2R*, *3R*, *4R* — releede mähised

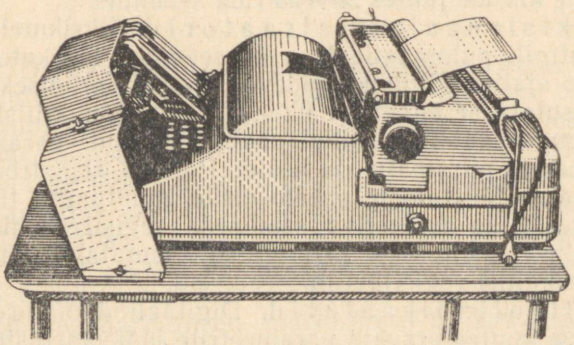


Joon. 7-26. Automaattrükiseade kirjutusmasina «Moskva» baasil

releed *1R*, *2R*, *4R*, *8R*. Kui sulgub ainult relee *1R1* kontakt, lülitub sisse solenoidi T_1 toiteahel, kui aga relee *1R1* ja *2R1*, siis läbib vool solenoidi T_3, jne.

Automaattrükimasinad. Need on tavaliselt valmistatud harilikest kirjutusmasinatest. Masinate klaviatuur sidestatakse elektromagnetitega, mida tüüritakse väljundisignaalidega. Sõnaintervalli kang ning vankri ja diagrammipaberi nihutussõlme juhtimiseks on kasutamisel erisõlmed. Enamasti on tarvitusel pika võlliga masinad. Joonisel 7-26 on näidatud tavalise kirjutusmasina «Moskva» baasil loodud automaattrükiseadme foto. Masinasse on jäetud alles vaid numbrite (0 kuni 9) klahvid. Vankri algasendisse tagasitoomiseks ja rea nihutamiseks kasutatakse friktsioonreduktoriga väikesegabariidilist grammofonimootorit. Et klahvide liigutamiseks on vaja rakendada küllalt suurt jõudu, siis kasutatakse selleks releede PKC elektromagneteid. Veel lihtsamini on automatiseeritavad elektriajamiga varustatud kirjutusmasinad «Rheinmetall». Siin on klahvide käivitamiseks ja vankri liigutamiseks vajalikud jõud märksa väiksemad. Vaadeldud tüüpi masinad on kasutusel kõigis kodumaistes tsentraalkontrolli automaatides (МАР, МАРС, ЭЛРУ jne.). «Rheinmetall»-tüüpi masinad on automatiseeritavad ka eraldatava lisabloki abil (joonis 7-27), mida saab masinalt ära võtta ja kasutada ka tavalise kirjutusmasinana.

Maksimaalne registreerimiskiirus 400—500 märki minutis on tehnoloogiliste parameetrite registreerimiseks täiesti



Joon. 7-27. Automaattrükiseade kirjutusmasina «Rheinmetall» baasil

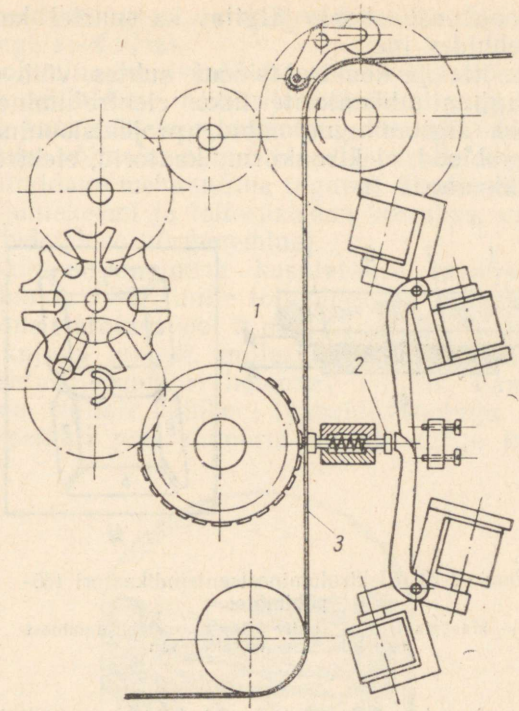
küllaldane. Tootmisprotsessi käigus kontrollitavad parameetrid registreeritakse enamasti erilisele kaardile, mis peab olema küllalt ülevaatlik. Tavaliselt on kaardile varem trükitud protsessi ja kontrollitavate parameetrite nimetused (koos mõõtühikute, skaalaandmete jm. märkimisega). Perioodilise registreerimise olukorras trükitakse kontrollitavad parameetrid vastavatesse tulpadesse. Hälbed registreeritakse aga kas erikaardil (näit. masinas MAP) või eraldi väljundiseadisel (MAPC), mõnikord aga ka samal kaardil.

Väljundiseadmete juurde kuulub üldreeglina ka ajaandur, millelt saadav informatsioon võimaldab trükkida diagrammiplangile parameetrite registreerimismomendile vastava aja. Ajaandur koosneb kellast (tavaline või elektriimpulsskell) ja ajaloendurist, mis tehakse releedest, sammvalijatest või kontaktivabadest elementidest. Ajaloendur käivitab trükimasina elektromagnetid.

L i n t t r ü k i s e a d e. Katseandmete töötlemisel pole tavaliselt suured registreerimiskaardid vajalikud, märksa olulisem on aga suur registreerimiskiirus, mis ületab automaattrükimasina kiiruse. Sel juhul on kasutusel pidevalt pöörlevate ketastega kiir-trükiseadised. Üks selline on skemaatiliselt kujutatud joonisel 7-28. Trükirullide arv vastab trükitava arvu kohtade hulgale. Rulli perimeetril on trükimärgid. Numbri trükkimiseks lööb elektromagnetiga käivitatav haamrike *2* paberilindi koos värvilindiga *3* vastu trükirulli, jäädvustades paberil vastava numbri. Seadme tehniliseks kiiruseks on kümne- kuni viieteistkohaliste arvude juures 20—25 rida sekundis.

F u n k t s i o n a a l r e g i s t r a a t o r i d. Üksikutel tsentraalkontrolli automaatidel on ka seadmed üksikute parameetrite ajalise sõltuvuse pidevaks registreerimiseks. Selleks kasutatakse enamasti ühe- või mitmepunktilist automaatkompensaatorit, millel saab soovitud parameetrit registreerida piiramatu aja kestel. Pidevat registreerimist kasutatakse tähtsamate parameetrite muutumise fikseerimiseks, tihti ka dubleeriva seadisena registreerimissõlme töökindluse tõstmiseks. Erijuhtudel kasutatakse ka kahekoordinaadilisi registreerimisseadiseid.

D i g i t a a l i n d i k a a t o r i d. Digitaalindikaatoreid kasutatakse kontrollitavate parameetrite hetkväärtuste pidevaks visuaalseks jälgimiseks. Kontrollitava suuruse kujutis saadakse neis reeglina kümnendsüsteemilise arvu



Joon. 7-28. Linttrükiseadme skeem:
1 — trükirull; *2* — vasar; *3* — värvilint; *4* — elektromagnet

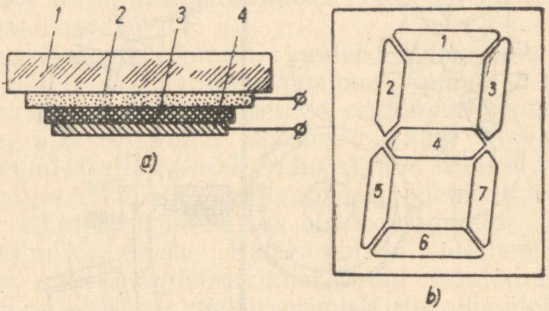
kujul. Digitaalindikaatorid ehitatakse üles vastavalt blokk-moodulsüsteemi põhimõtetele, mis õigustab end kõige paremini massilisel tootmisel. Seejuures paraneb ka töökindlus, lihtsustub remont, kergeneb moderniseerimine. Küllaldase töökindluse tagamiseks kasutatakse digitaalindikaatoreis kontaktivabu pooljuht- ja ferromagnetilisi sõlmi. Põhiliste lahenduste seisukohalt võib digitaalindikaatoreid liigitada väikesegabariidilisteks ja suuregabariidilisteks.

Väikesegabariidilised indikaatorid on kasutusel kohtades, kus informatsiooni loetakse ligidalt, näiteks dispetšeripultidel, tsentraalkontrolli automaatidel jne.

Suuregabariidilisi indikaatoreid kasutatakse seal, kus

informatsioon peab olema jälgitav ka suurtel kaugustel, näiteks tsehhides jne.

Tööpõhimõtte ja konstruktsiooni suhtes võib eristada järgmisi digitaalindikaatorite liike: elektroluminestsentsindikaatorid, digitaalhuumlambid, projektsioonindikaatorid, valgustablood, elektronkiirindikaatorid, elektromehaanilised indikaatorid jne.



Joon. 7-29. Elektroluminestsentsindikaatori tööpõhimõte:
1 — klaasplaat; *2* — juhtiv kile; *3* — elektroluminestsentskile; *4* — metallekraan

Elektroluminestsentsindikaatorid kümne numbri (0—9) kujutamiseks koosnevad (joonis 7-29, *a*) klaasplaadist *1*, millele on kantud läbipaistev juhtiv kile *2*, elektroluminestsentskile *3* ning metallekraan *4*. Läbipaistva kilena kasutatakse tina- ja kaadmiumoksiide, elektroluminestsentskihina aga pulbrilist fosfoormaterjali (näiteks vääveltsinki ZnS või -seleeni SeS), segatuna epoksüüdvaigu või keraamilise massiga.

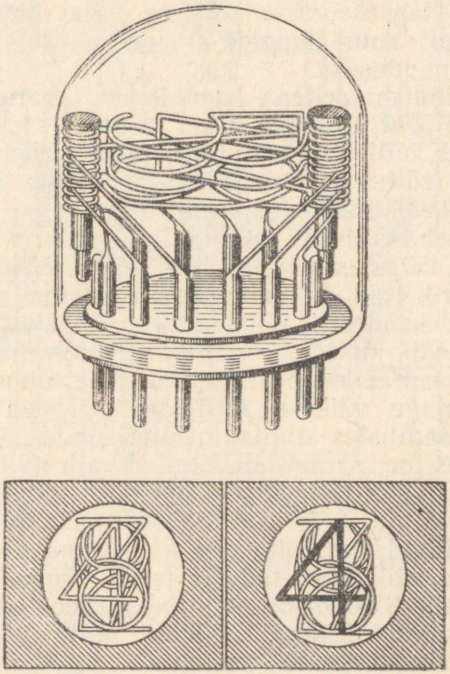
Indikaatori metallelektrood (joonis 7-29, *b*) valmistatakse üksteisest isoleeritud segmentidena, mis tervikuna moodustavad numbri üldkuju (joonisel number 8). Segmentide üldarv võib olla 7—9-ni ja rohkem. Suurema segmentide arvu korral saab numbreid esitada loomulikule lähedasemal kujul. Samuti jääb number ühe segmendi riknemise korral paremini loetavaks. Liiga suur segmentide arv teeb aga indikaatori ja eriti juhtskeemi keerukamaks.

Ühe kümnendnumbri kujutamiseks «süüdatakse» elektroluminestsentsplaadi vastavad segmendid, pingestades

need vahelduvpingega (efektiivväärtusega 250—280 V ja sagedusega 1—4 kHz).

Elektroluminestsentsindikaatori eelisteks on väike energiatarve, küllaldane numbrite heledus, mugav (plaadikujuline) konstruktsioon, mitmesuguste mõõtudega numbrite saamise võimalus samal plaadil, parallaksivea puudumine, küllaldane mehaaniline tugevus. Puudustest on olulisemad juhtskeemi ja toitesüsteemi keerukas, vananemisnähted (helenduse nõrgenemine).

Digitaalhuumlampidena kasutatakse tavaliselt lampe ИН-1 (joonis 7-30), mille toitepinge on ligikaudu 200 V (normaalne tarbimisvool 3 mA). Lambil on 10 vastava numbri kujuga anoodi, millest ühe pingestamise korral ilmub nähtavale numbri helendav kujutis. Lambi ИН-1 tööiga on küllalt lühike (vahelduvvooluga toitmisel pikem), samuti pole numbrid küllalt selge kujutisega.



Joon. 7-30. Digitaalhuumlamp

Anoodide paiknemise tõttu eri tasapindades saadakse normaalne kujutis vaid lambi kolvi ristsuunalisel vaatlemisel.

Projektsioonindikaatoreis saadakse numbrite kujutised mattklaasekraanile reast valgustuslampidest, numbrite profiiliga piluekraanidest ja optilisest süsteemist koosneva sõlme abil. Numbrite kujutis on küllalt ere ja paikneb ühes tasapinnas. Kujutist on võimalik suurendada või vähendada sobiva mõõduni. Projektsioonisüsteemides on võimalik fooni või numbrite värvi abil edasi anda veel lisainformatsiooni.

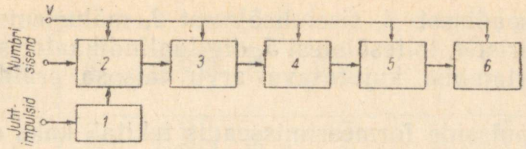
Tagantvalgustatavate numbritega indikaatorid on levinud eriti mitmesugustes loendurites. Siin kasutatakse iga numbri valgustamiseks eri hõõglampi, tihti ka dekatrone.

Valgustablootüüpi indikaatoreis saadakse numbri kujutis vastava lampidekombinatsiooni süütamise teel võrgukujuliselt paigaldatud lampide seas. Kümme numbri kujutise küllalt täpseks saamiseks on vaja umbes neliükümmend lampi. Suur lampide arv on ka vastava süsteemi põhiliseks puuduseks.

Elektronindikaatoritena kasutatakse tavaliselt elektronkiiretorusid 3Л10, 5Л10 jne. Ühel ja samal torul saadakse arvu kujutis, millel võivad olla mitmesugused mõõtmed ja isegi värv (sõltuvalt toru tüübist). Selliste indikaatorite eeliseks on väike ühendusjuhtmete arv.

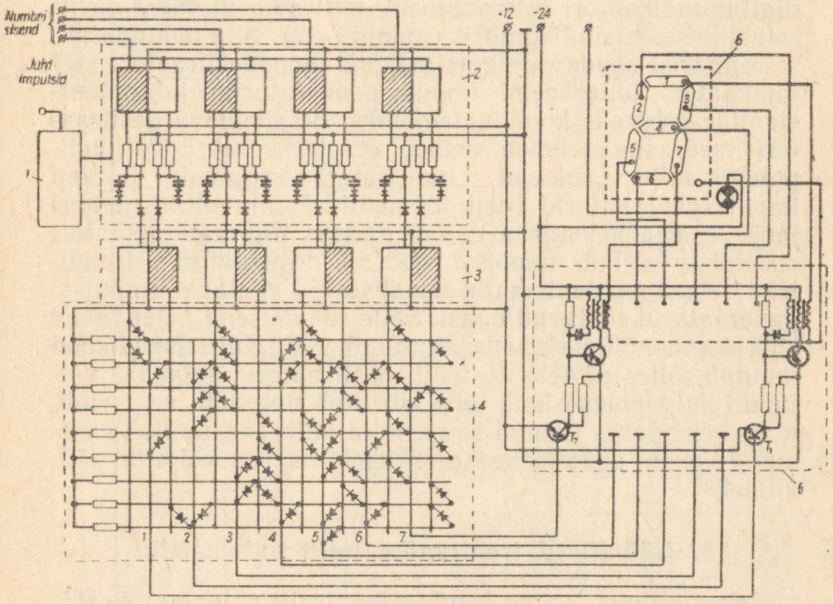
Elektromehaanilised digitaalindikaatorid koosnevad silindritest, ketastest või lintidest, millele on kantud numbrid. Numbrikettad on omavahel reduktori (ülekandega 1:10) abil dekaadidena ühendatud ning käivitatakse elektromagneti või mikromootoriga. Elektromehaanilisi indikaatoreid kasutatakse peamiselt aeglase toimega digitaalseadiseis, nagu väikese loendamiskiirusega loendureis, elektromehaanilistes digitaalmõõteriistades, mitmesugustes kaaludes jne., samuti siis, kui on vaja näitude pikaajalist säilitamist ka toitepinge katkemise korral.

Käesoleval ajal pole veel digitaalindikaatorite perspektiivsemad liigid lõplikult välja kujunenud ning praktikas võib kohata kõiki loetletud (ja teisi) tüüpe. Mitmekohaline digitaalindikaator on otstarbekas koostada üksikutest universaalsetest dekaadblokkidest, mille unifitseerimine võimaldab koostada mitmesuguste digitaalindikaatorite variante. Joonisel 7-31 on toodud blokkskeemina digitaalindikaatori dekaadblokk, mis koosneb juhtimpulsside for-



Joon. 7-31. Digitaalindikaatori dekaadsõlme blokkskeem:

1 — formeerimisseadis; *2* — sisendisõlm; *3* — mäluelement; *4* — dešifraator; *5* — toitesõlm; *6* — digitaalindikaator



Joon. 7-32. Elektroluminestsents-digitaalindikaatori dekaadsõlme skeem:

1 — impulsside formeerimissõlm; *2* — sisendiseadis; *3* — mälusõlm; *4* — dešifraator; *5* — toiteseadis; *6* — indikaator

meerimisseadisest *1*, sisendisõlmest *2*, mäluelemendist *3*, dešifraatorist *4*, toitesõlmest *5*, digitaalindikaatorist *6* ning indikaatorlambist kujutatava arvu täisosa eraldamiseks murrust.

Juhtimpulsside formeerimisseadis tekitab kaks elektriliselt eraldatud (positiivse ja negatiivse polaarsusega) juhtimpulssi. Sisendisõlmes teisendatakse sisenev paralleelne numbri impulsskood potentsiaalkoodiks. Mäluseadmes see salvestatakse kuni järgneva impulsi saabumiseni. Dešifraatori abil muundatakse vastava numbri kahendkood selliseks koodiks, mis sobib kasutatava digitaalelemendi toitesüsteemi tüürimiseks, kusjuures lõpptulemusena saadaksegi vajaliku numbri kujutis.

Toodud blokkskeemi tegeliku lahenduse näitena vaatleme digitaalindikaatori dekaadblokki, milles kasutatakse elektroluminestsentsindikaatorit (joonis 7-32). Siin muundatakse registrist saadav potentsiaalkood dioodidešifraatori abil indikaatori toiteskeemi impulssgeneraatorite juhtpotentsiaalide sobivaks kombinatsiooniks. Vaadeldava dešifraatori iseärasus seisneb selles, et dešifraatori väljundipotentsiaalid sulevad indikaatori segmente toitvad impulssgeneraatorid (neil segmentidel, mis antud numbri jaoks ei pea helendama). Kui näiteks digitaalindikaatori sisendisse saabub numbri *8* kood, siis dešifraatori väljunditel 1—7 sulgepotentsiaalid puuduvad ja vastavad impulssgeneraatorid töötavad edasi. Selle tulemusena helendavad kõik segmendid ja saadakse number *8*. Kui sisendikood muutub, olles näiteks *0*, tekib dešifraatori neljandal väljundil sulgepotentsiaal, mis kustutab neljanda segmendi, ning helendama jäänud segmendid näitavad nulli. Vaatamata skeemi suhtelisele keerukusele on see küllaltki töökindel.

8. Tüüpilised tsentraalkontrolli automaadid

Eelnevalt vaatlesime tsentraalkontrolli automaatide tööpõhimõtet ning üksiksõlmede lahendusi, nüüd tutvume mõningate NSV Liidus toodetavate automaatide omaduste ja konstruktsioonidega.

Tähtsamate Nõukogude Liidu ja välismaa tsentraalkontrolli automaatide tehnilised andmed on kokkuvõtlikult esitatud tabelis 7-2 (tabelis on toodud tähtsamad kirjanduses avaldatud andmed).

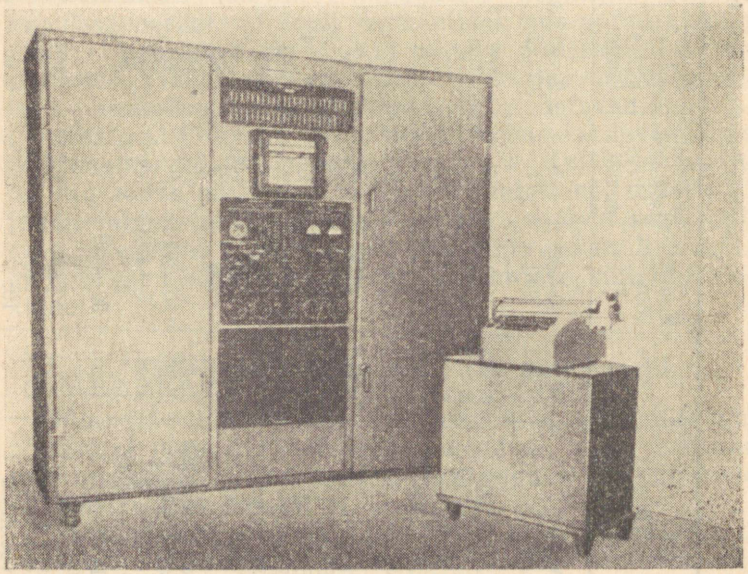
Tabel 7-2

Tsentraalkontrolli automaatide põhiandmed

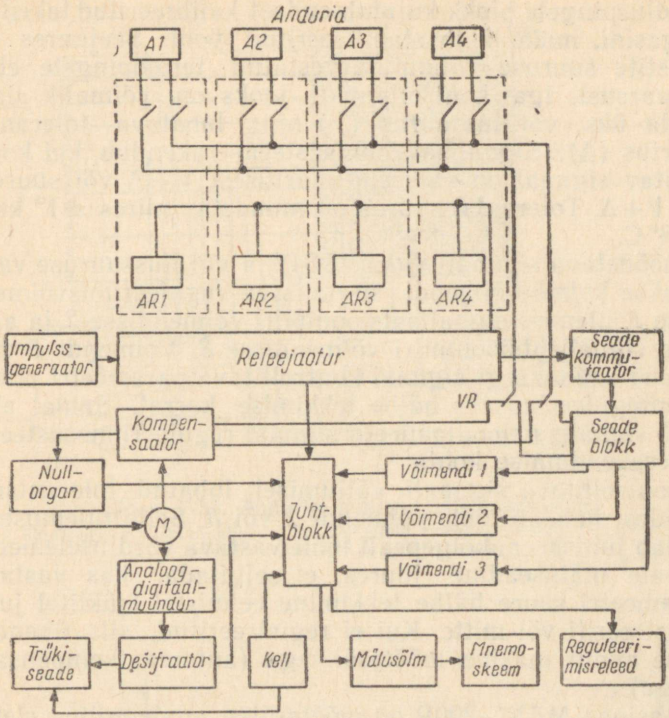
Jrk nr.	Tüüp	Maa	Kontroll-punktide arv	Kommutatsiooni-kiirus punkti/s	Registreerimis-kiirus P/min	Täpsus %	Kommutaatori tüüp	Väljundi-seadmed	Gabariidid (pikkus, laius, kõrgus) cm	Tarbitav võimsus W
1.	АМУР	NSVL	40—80	3	2—60	1,5	relee	—	102×80×210	500
2.	МАР-1	NSVL	240	5	30—60	0,2		1 trükimas		
3.	МАРС-100	NSVL	100	5	20	±2° C/1%		2 „	151×70×198	500
4.	МАРС-200Р	NSVL	200	2,5	12	1	relee	1 „	220×75×210	600
5.	МАРС-300	NSVL	300	10	20	0,5/1,0	relee	2 „	200×60×200	250
6.	МАРС-УБ	NSVL	100—500	5	300	1	relee			
7.	ЭЛРУ-1	NSVL	52	0,3		1	el. meh.	1 „ ja perf.	139×75×65	500
8.	ЭЛРУ-2	NSVL	56	0,2	16	1	el. meh.			
9.	ЗЕНИТ-1	NSVL	40	10	40—25	0,5	el. meh.			350
10.	ЗЕНИТ-2	NSVL	80	14	80—4	0,5	el. meh.		188×172×63	650
11.	РУМБ-2	NSVL	40	2,5	600	0,2	relee	perf.		
12.	МППИ-1	NSVL	128	100	600	0,5				
13.	AVRO	Ingl.	50	1000		0,5				
14.	DAME	Ingl.	300	4	60	0,1			48×183	
15.	Kelvin-Hughes	Ingl.		5	60		el. meh.			
16.	Panalog 605	Ingl.	150—200		60	0,3	relee			
17.	Panalog 607	Ingl.	75—450	1,2—5	60				180×210—65	
18.	Panalog 609	Ingl.	256	5; 100	60	0,25	relee			1000
19.	LP 981	Ingl.	50—100	2			relee		76×51×58	
20.	Solartron	Ingl.	50	2		0,1	relee		76×60×50	
21.	DATAK	USA	149	0,2	300					
22.	Honeywell	USA	120	6,6		0,1				
23.	Kybernetes 2000	USA	10; 60; 180	50	60		relee		213×56×193	
24.	Sergomni	USA	10	0,5	30					

I. MAPC. Esimene nõukogude tsentraalkontrolli automaat töötati välja 1958. a. (MAPC-300). Hiljem lasti välja veel mitmeid selle süsteemi modifikatsioone: MAPC-200P, MAPC-100. Kõigis neis masinais kasutatakse kommutatsiooniahelate põhielemendina hermeetilisi releesid РМУГ ja juhtahelais releesid РКН ning РСАМ. Elektronlampide arv on viidud miinimumini.

MAPC-200P. See masin (joon. 7-33) on määratud temperatuuri kontrollimiseks ja reguleerimiseks tootmisprotsessides, kus iseloomulikud parameetrid muutuvad suhteliselt aeglaselt. Süsteem võimaldab kuni 200 anduri (termopaari) signaalide juures avastada hälbeid seadesuuruse suhtes, registreerida neid ning tekitada juhtsignaale kontrollitavate parameetrite positsioon-reguleerimiseks. MAPC-200P blokkskeem on kujutatud joonisel 7-34. Andurid (termopaarid) ühendatakse hermeetilistest releedest РМУГ koostatud releekommutaatoriga (jaotur). Viimast juhitakse erilise impulssgeneraatori abil. Releed lülitavad ümber termopaaride väikesi pingeid ilma oluliste



Joon. 7-33. Tsentraalkontrolli automaat MAPC-200P



Joon. 7-34. MAPC-200P blokkskeem

häireteta. Ümberlülituskiirus on 0,3 s ühe anduri kohta, millega on tagatud kommutaatori normaalne tööiga vähemalt 5 aastat. Andurite releede õige lülitusjärjekord tagatakse releejaoturlülitusega, mille skeem on toodud joonisel 7-35. Siin on andurite releed ühendatud nn. maatriksskeemina, mille horisontaallatte kommuteeritakse üheliste releejaoturiga, vertikaallatte aga kümneliste releejaoturiga. Iga kord rakenduvad vastavate lattide ristumiskohas asuvad releed.

Masin võimaldab pidevalt võrrelda andurite signaale etteantud alumise ja ülemise piirväärtusega. Etteandesuurused on iga parameetri jaoks seatavad vastaval kommutatsioonipaneelil pistikute kindla kombinatsiooniga. Pistikud rakendavad võrdlusskeemile kindla võrdluspinge.

Võrdluspingete blokk kujutab endast kalibreeritud takistite magasini, mida läbib stabiliseeritud vool. Seejuures on takistite suuruse valikul arvestatud termopingete ebalineaarsust. Iga kontrollpunkti jaoks on võimalik sisse seada üks võrdlussuurus (V) ning lubatava tolerantsi väärtus (Δ). Signalisatsioonisüsteem rakendub, kui kontrollitav signaal on väiksem väärtusest $V-\Delta$ või suurem kui $V+\Delta$. Tolerantsi suurus on muudetav piires $\pm 1°$ kuni $\pm 18°$ C.

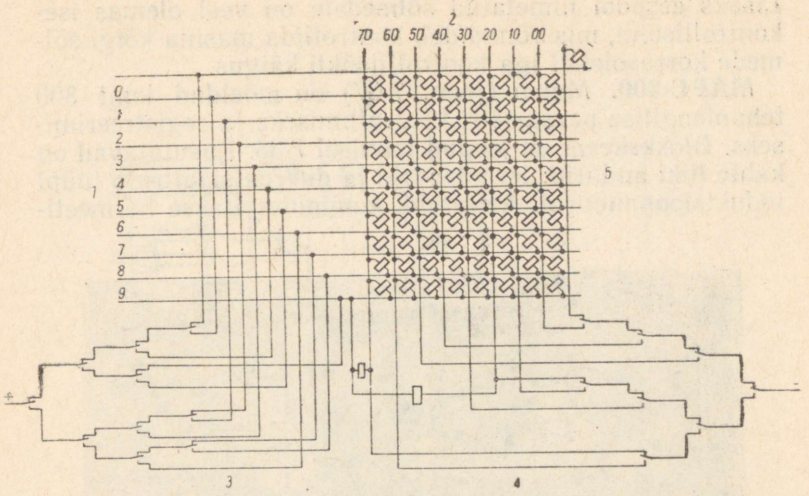
Mõõdetava signaali (joon. 7-34) ja võrdlussuuruse vahe antakse kolme võimendi sisendisse: reguleerimisvõimendisse *1*, ülemise signalisatsioonipiiri võimendisse *2* ja alumise signalisatsioonipiiri võimendisse *3*. Võimendi *1* väljundist saadaksegi signaal kontrollitava parameetri positsioonreguleerimiseks hälbe tekkimise korral. Samal ajal tekib signalisatsioonipaneelil signaal reguleerimissüsteemi töölerakendumise kohta.

Kontrollitava signaali väljumisel lubatud tolerantside piiridest hakkab tööle võimendi *2* või *3*. Selle tulemusena lülitab juhtskeem kõigepealt tööle vastava võrdluselemendi hälvete mäluseadme juures, et selgitada, kas vastava parameetri suure hälbe tekkimine eelmistel tsüklitel juba registreeriti või mitte. Kui ei registreeritud, siis ühendatakse andur masina mõõtesõlmega (automaatkompensaatoriga).

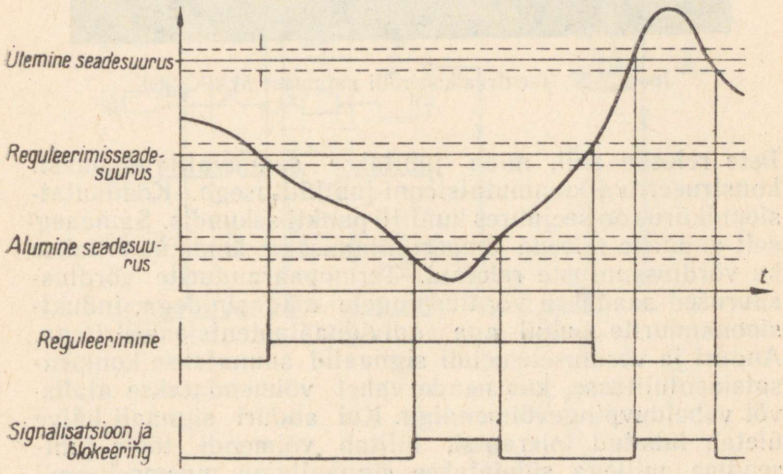
Masinas MAPC-200P on mõõtesõlm analoogiline elektron-sekundaarmõõteriista automaatselt tasakaalustava reokordiga mõõtelülitusega. Kompensatsioonskeemis muundatakse reokordi võlli asend koodketta abil tsüklilisseks kahendkoodiks. Dešifraatoris muundatakse kahendkood kümnendkoodiks. Kõrvalekaldunud parameetri suurus trükitakse elektrifitseeritud kirjutusmasinaga registreerimiskaardile koos registreerimisaja momendi ja mõõtepunkti aadressi (järjekorranumbri) märkimisega. Lisaks sellele lülitub sisse hälvete signalisatsioonipaneel ja objekti blokeerimisseade.

Kui hälbinud parameetri normaalne tase on taastatud, lakkavad signalisatsiooni- ja blokeerimissüsteemid toimimast ning vastav suurus mõõdetakse uuesti, kusjuures see registreeritakse nüüd musta värviga (koos aja ja mõõtepunkti numbri märkimisega).

Joonisel 7-36 on masina töötamise ajadiagramm kontrollitava parameetri ulatusliku muutumise tingimustes.



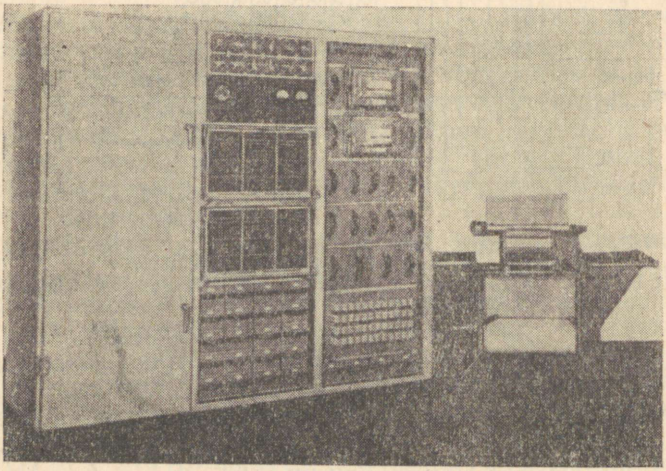
Joon. 7-35. Andurite kommutatsioonisüsteem:
1 — ühelised; *2* — kümnelised; *3* — üheliste releedešifraator; *4* — kümneliste releedešifraator; *5* — andurite releed



Joon. 7-36. Masina MAPC-200P muutuvate parameetrite ajadiagramm

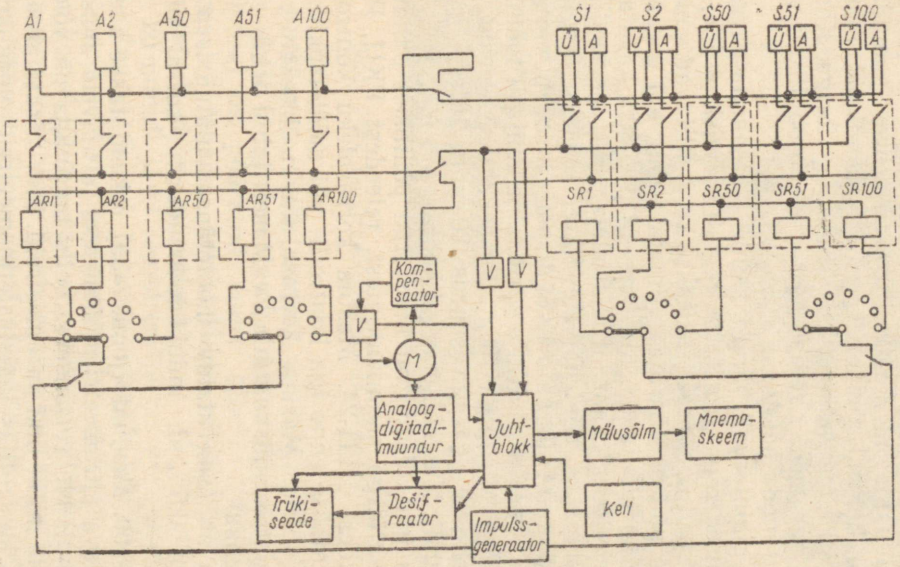
Lisaks eespool nimetatud sõlmedele on veel olemas isekontrollisõlm, mis võimaldab kontrollida masina kõigi sõlmede korrasolekut iga kontrollitsükli käigus.

MAPC-300. Masin (joon. 7-37) on mõeldud kuni 300 tehnoloogilise parameetri kontrollimiseks ja registreerimiseks. Blokkskeem on toodud joonisel 7-38. Kasutatavad on kahte liiki andurid: termopaarid ja diferentsiaaltrafo tüüpi induktsioonandurid. Andureid kommuteeritakse hermeeti-



Joon. 7-37. Tsentraalkontrolli automaat MAPC-300

liste releede abil, mida juhitakse sammvalijate baasil konstrueeritud kommutatsiooni-juhtlülitusega. Kommutatsioonikiirus on seejuures kuni 10 punkti sekundis. Samaaegselt andurite releede ümberlülitamisega kommuteeritakse ka võrdlussuuruste releesid. Termopaarandurite võrdlussuurused saadakse võrdluspingete magasinidega, induktsioonandurite puhul aga individuaalpotentsiomeetritega. Anduri ja võrdluselemendi signaalid suunatakse kompensatsioonlülitusse, kus nende vahet võimendatakse alalis- või vahelduvpingevõimendiga. Kui anduri signaali hälve ületab lubatud tolerantsi, lülitab võimendi tööle juhtseadme, millega süüdatakse signaallamp mnemoskeemil ning lülitatakse sisse hälvete mälubloki vastav relee.



Joon. 7-38. MAPC-300 blokkskeem

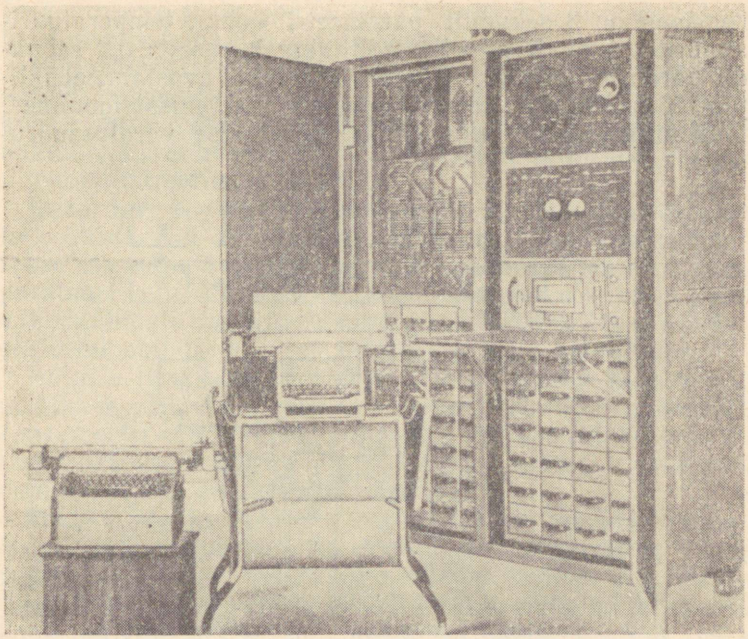
Samal ajal lülitatakse sisse helisignaal. Pärast seda ühendatakse kontrollitav parameeter mõõteskeemiga. Kasutusel on kaks paralleelset mõõteskeemi: termopaarandureile koodkettaga automaatkompensaator ЭПВ, induktsioonandureile koodkettaga sekundaarmõõteriist ЭПВИ. Koodkettad võimaldavad kontrollitava suuruse muundamist tsüklilisse kahend-kümnendkoodi. Kahendkood muundatakse uuesti kümnendkoodiks releedešifraatoriga. Kõrvalekaldunud parameeter registreeritakse analoogiliselt varem vaadeldud modifikatsioonidega.

Kindla ajaintervalli järel masinas tähtsamate parameetrite suurused registreeritakse registreerimiskaardile, kuhu vastavatesse tulpadesse trükitakse kontrollitavad suurused musta või punase värviga (viimane juhul, kui parameetri hälve ületab lubatava). Masinas МАРС-300 kasutatakse registreerimiseks kaht trükiseadet: üht perioodiliseks registreerimiseks, teist hälvete fikseerimiseks. Registreerida on võimalik operaatori või dispetšeri soovil, kui masin töötab. Parameetrite hälvete normaalne kontroll toimub iga 10 min. järel kiirusega 10 punkti sekundis. Perioodiliselt registreeritakse aga iga suurus 20 min. järel kiirusega 2—3 sekundit ühe mõõtepunkti kohta.

Masina juhtskeemid on koostatud põhiliselt palladeeritud kontaktidega sammvalijatest, releedest РКН, РСАМ ja dioodidest ДГЦ-24. Masina korrasoleku kontrollimiseks lülitatakse enne iga kontrolli- või mõõtetsüklit sisse kontrollandurid. Masina korrasolekul trükitakse vastav märk registreerimiskaardile, vastasel juhul tekib eriline valgussignaal.

Masina abil saavutatav mõõtetäpsus ulatub termopaaride puhul 0,5%-ni, induktsioonandurite korral on see aga 1%.

МАРС-100. Masinat (joon. 7-39) rakendatakse kuni 100 kontrollitava parameetri mõõtmiseks ja hälvete avastamiseks, samuti blokeerimiseks. Selle masinaga on võimalik kontrollida mitut liiki parameetreid. Siin kasutatakse temperatuuri kontrolliks takistustermomeetreid, vedelike kulu kontrolliks rotomeetreid РЭД, nivoo kontrolliks diferentsiaalmanomeetreid ДМ-6, kontsentratsiooni kontrolliks reokordidega varustatud kontsentratsioonimõõtjaid. Masin on mõeldud kasutamiseks keemiatööstuse protsesside automaatkontrolliks, mille spetsiifikale vastavalt on ette nähtud ka mitmesugused võrdlussuurused: temperatuuri jaoks

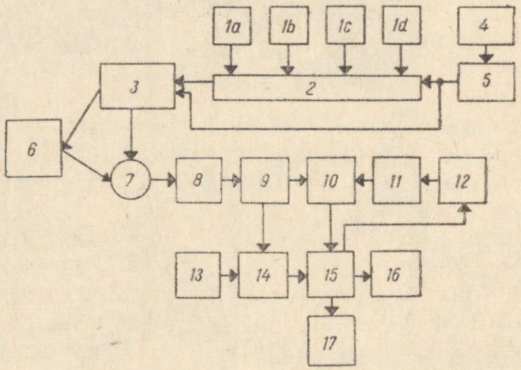


Joon. 7-39. Tsentraalkontrolli automaat MAPC-100

kolm piirsuurust (kaks ülemist, üks alumine), ülejäänud parameetrile ülemine ja alumine piirsuurus. Masina konstrueerimisel on pööratud suurt tähelepanu töökindluse tagamisele. Masina põhiblokkide riknemisel lülituvad automaatselt sisse reservblokid.

Iga 20 minuti järel registreeritakse perioodiliselt kõik temperatuurid, kulud ja kontsentratsioonid. Samal ajal võrreldakse neid võrdlussuurustega. Lubamatu hälbe avastamise korral lülitub sisse signalisatsioonisüsteem, samuti registreeritakse hälve punase värviga vastaval kaardil. Temperatuure, millele antud süsteemis on omistatud eriline tähtsus, kontrollitakse iga 60 sekundi järel. Samaks ajaks lülituvad kõik muud kontrollisüsteemid välja. Kui mingi temperatuurianduri signaal ületab teise (kõrgendatud) ülempiiri, blokeeritakse otsekohe kogu protsess ja rakendub heli- ning valgussignalisatsioon, samuti registreeritakse vastav hälve. Parameetrite normaalne registree-

rimisaeg on 3 sekundit parameetri kohta, temperatuuriandurite signaale aga kontrollitakse kiirusega 0,2 sekundit parameetri kohta. Temperatuurihälbe avastamisel lülitub töösse täpsem kontrollisüsteem kompensatsioonimeetodil ning signaali võrreldakse digitaalse võrdlussuurusega.



Joon. 7-40. MAPC-100 blokkskeem:
1 — andurid: *1a* — kuluandur; *1b* — kontsentratsiooniandur; *1c* — nivooandur; *1d* — temperatuuriandur; *2* — kommutaator; *3* — kompensaator; *4* — temperatuuri seadeelement; *5* — releeväljundiga faasitundlik võimendi; *6* — faasitundlik võimendi; *7* — mõõteelement; *8* — numbriline muundur; *9* — dešifraator; *10* — perioodiline registraator; *11* — kell; *12* — hälvete registraator; *13* — numbriline seadeelement; *14* — komparaator; *15* — mälusõlm; *16* — mnemoskeem; *17* — avariiblokeeringu sõlm

Masina MAPC-100 blokkskeem on näidatud joonisel 7-40. Andurid ühendatakse masinaga releekommutaatori kaudu. Temperatuuriandurite signaalide võrdlemisel võrdlussuurustega kasutatakse releeväljundiga faasitundlikke transistorvõimendeid УФР. Lubamatu hälbe avastamisel ühendatakse andur mõõteskeemiga. Kompensaatori reokordi võllile paigutatud koodkettaga muundatakse temperatuurianduri signaal kahendkoodi ja võrreldakse digitaalse võrdlussuurusega. Kui täpsemal kontrollil selgus, et hälve on lubatud piiridest välja läinud, siis rakendub mäluseade ja lülitub töösse mnemoskeemi signalisatsioonisüsteem ning hälbe registratsioonisõlm. Edasi võrreldakse tegelikku temperatuurisignaali kõrgema digitaalse võrd-

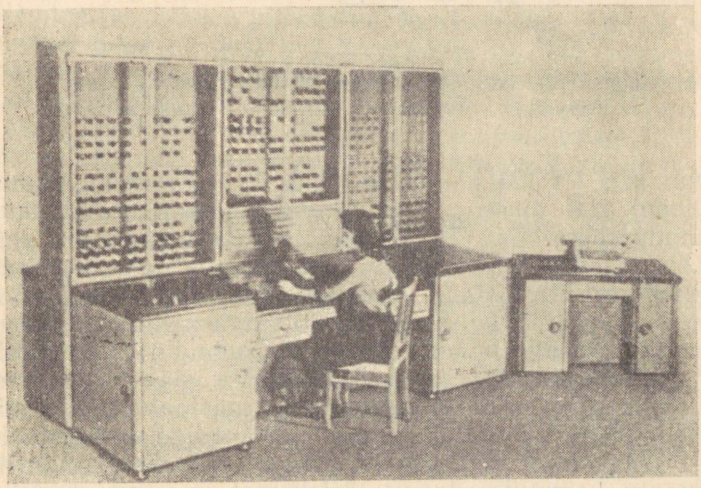
lussuurusega ja kui hälve ka selle ületab, lülitub töösse helisignalisatsioon ja blokeerimissüsteem.

Perioodilisel registreerimisel suunatakse andurite signaalid kompensaatorisse. Seal antakse kahend-kümnendkoodi muundatud parameetrite signaalid dešifraatori kaudu trükiseadmesse parameetri registreerimiseks perioodilise registreerimise kaardile.

Enne iga kontrollitsüklit toimub masina põhisõlmede isekontroll. Kui avastatakse rikkisolev sõlm, siis asendatakse see automaatselt reservsõlmega. Kui läheb rikki temperatuuri kontrolli süsteem, siis lülitatakse see välja koos vähemtähtsate anduritega ning masin hakkab täpse mõõtesüsteemi abil järjekorras mõõtma kõiki temperatuure.

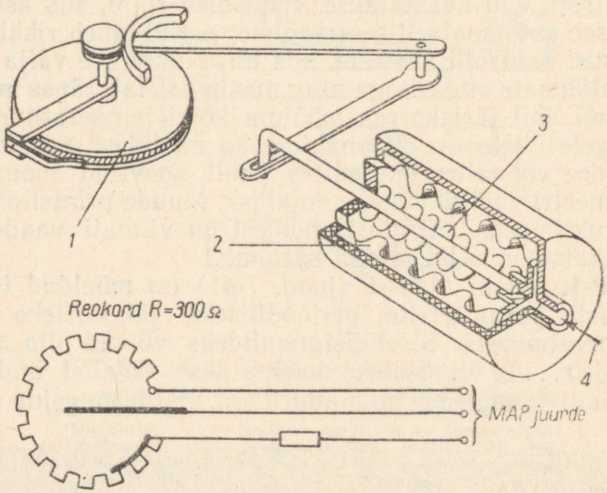
Kõigele lisaks on ette nähtud ka mistahes parameetri mõõtmise võimalus operaatori poolt soovitud momendil (parameetri «väljakutse» võimalus). Muude printsiipide ja konstruktiivsete lahenduste poolest on viimati vaadeldud modifikatsioon eelnevatega sarnane.

MAP-1. Masin MAP-1 (joon. 7-41) on mõeldud tehnoloogiliste parameetrite perioodiliseks jälgimiseks ning registreerimiseks. Sisendisignaalideks võivad olla alalispinged 0 ... 10 V. Selleks kasutatakse tavalisi andureid koos individuaalsete muunduritega. Selle masina jaoks



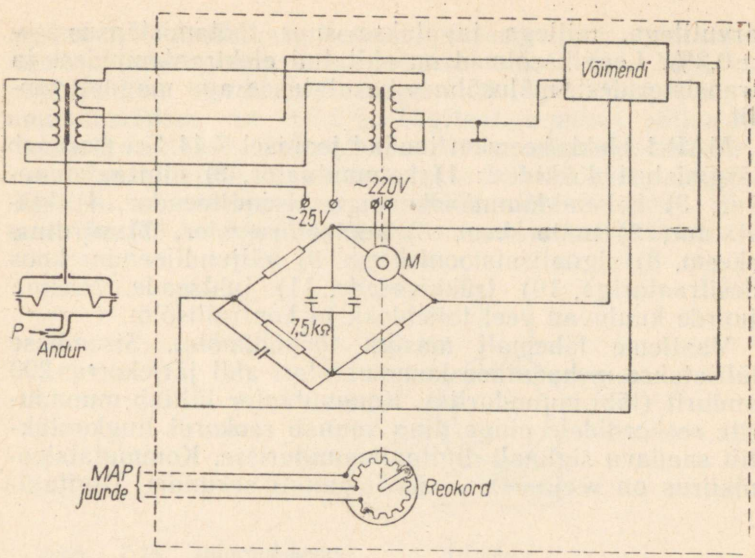
Joon. 7-41. Tsentraalkontrolli automaat MAP-1

kasutatakse kolme tüüpi muundureid: pneumoelektriline muundur, diferentsiaaltrafo tüüpi induktsioonanduri signaali muundur ning mitmesuguste sekundaar-mõõteriistade mõõtevõlli asendi muundur. Kõigi nende muundurite põhisõlmeks on reokord-potentsiomeeter, mida toidetakse masinast alalispingega 10 V. Reokordi liugkontaktilt saadav ja muundatava signaaliga proportsionaalne pinge antakse masina MAP-1 sisendisse. Pneumoelektrilises



Joon. 7-42. Pneumoelektrilise muunduri põhimõtteskeem:
1 — reokord; *2* — sülfoon; *3* — vedru; *4* — mõõdetav rõhk

muunduris (ППЭ) pannakse reokordi liugkontakt liikuma sülfooni abil (joon. 7-42). Induktsioonanduri signaali muundussüsteemis (ЭПЭ) kasutatakse kompensatsioonskeemi (joon. 7-43). See on üles ehitatud analoogiliselt sekundaarmõõteriistade skeemiga. Seejuures kasutatakse siin nii lineaarset kui ka ruutiseloomuga muundusseadust. Sekundaarmõõteriistade võlli asendi muunduriks on võllile paigutatud täiendav reokord. Andurite signaalide mastaabi muutmiseks kasutatakse erilist mastaabitakistit, mis ühendatakse järjestikku muunduri reokordiga viimasel tekkiva pingelangu muutmiseks (vähendamiseks). Andurite signaale kommuteeritakse järjekorras masina sisendis. Kahesaja parameetri kontrollitsükkel kestab umbes 40



Joon. 7-43. Induktsioonanduri signaali vahemuundur

sekundit. Iga parameetri jaoks on masinas salvestatud ülemine ja alumine piirsuurus. Kontrollitava suuruse väljumisel neist piiridest registreeritakse vastava parameetri väärtus, järjekorranumber ja ajahetk automaatselt erilisel kaardil punase värviga, samaaegselt lülituvad sisse ka valgus- ja helisignaal. Parameetri normaalseisundi taastumisel toimub analoogiline registratsioon, kuid musta värviga.

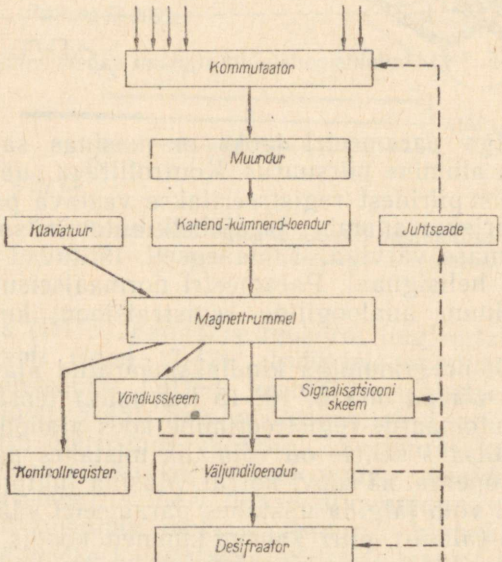
Eelnevalt programmiga kindlaksmääratud ajavahemike järel (mis võivad olla 5; 10; 15 jne. min.) teostub parameetrite automaatne registreerimine koos ajahetke fikseerimisega. Lisaks sellele on võimalik mistahes parameetri mõõtmine operaatori soovi korral. Masina juhtpuldi kontrollitablool võib jälgida mistahes parameetri väärtust või selle ülem-(alam-) piiri kahend-kümnendkoodis, juhtpuldile monteeritud osutimõõteriist aga võimaldab jälgida soovitud parameetri suuruse mõõtetulemust veaga ±3%. Kontrollitavate parameetrite piirväärtused sisestatakse masina mäluseadmesse puldil asuva klaviatuuri abil.

Masin MAP-1 on konstrueeritud analoogiliselt elektron-

arvutitega, millega tagatakse suur töötamistäpsus — ±0,2%. Loogikasõlmed on ehitatud elektronlampidest ja transistoridest, mälusõlmes kasutatakse aga magnettrumlit.

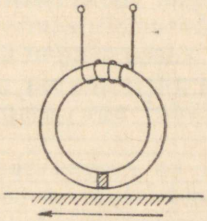
MAP-1 blokkskeem on toodud joonisel 7-44. See koosneb järgmistest blokkidest: 1) kommutaator, 2) digitaalmuundur, 3) kahend-kümnendkoodiga sisendiloendur, 4) klaviatuur, 5) mäluskeem, 6) kontrolliregister, 7) võrdlusskeem, 8) signalisatsiooniskeem, 9) väljundiloendur koos dešifraatoriga, 10) trükkivseade, 11) juhtseade. Masina juurde kuuluvad veel toiteblokk ja kontrollisõlm.

Vaatleme lähemalt masina tööpõhimõtet. Sisendisse lülitatakse mehaanilise kommutaatori abil järjekorras 200 andurit (läbi muundurite). Kommutaator lülitab muundurite reokordidele pinge ning suunab reokordi liugkontaktilt saadava signaali digitaalmuundurisse. Kommutatsioonikiirus on seejuures 5 mõõtepunkti sekundis. Digitaal-

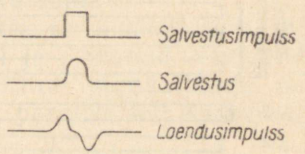


Joon. 7-44. MAP-1 blokkskeem

muunduris kasutatakse kestusimpulssmeetodit, mille tulemusena alalispinge muundatakse vastavaks hulgaks impulssideks kordussagedusega 100 kHz. Saavutatav muundustäpsus on ±0,2%. Digitaalmuunduri väljundimpulsid antakse kolmedekaadilisele sisendiloendurile, kus signaal ajutiselt salvestatakse kahend-kümnendkoodis kuni mälusõlme magnettrumlile salvestamiseni. Viimase juurde kuuluvad magnettrummel ja salvestus-taas-



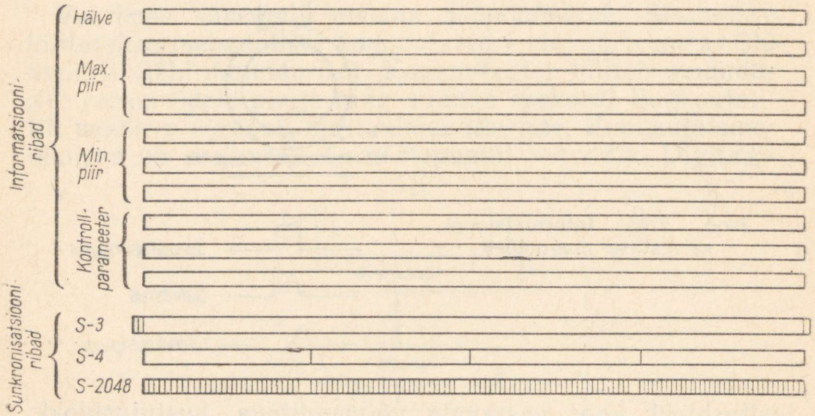
Joon. 7-45. Informatsiooni salvestuse magnetpea



esitusblokk koos vastavate võimenditega, kustutusblokk ning sünkronisatsiooniblokk. Masinal on vaja suhteliselt väikest mälu mahtu (18 000 kahendmärki), mille tõttu on selles võimalik kasutada standardset elektronarvuti «Uraal» magnettrumli blokki. Trummel ise on valmistatud duralumiiniumist ja kaetud ferrolaki kihiga. Informatsioon salvestatakse trumlile, samuti taasesitatakse 10 universaalse magnetpea abil. Viimane koosneb pehmest rauast õhupiluga südamikust, millele on mähitud vajalikud mähised (joon. 7-45). Südamiku õhupilu (80 μm) on täidetud mittemagnetilise materjaliga. Õhupilu juures väljuvad magnetjõujooned kumerdunult südamikust ning magnetiseerivad õhupilu vahetus läheduses paikneva trumli pinna (magnetilise kile). Magnetiseeritud pinnakiht tähistab ühe kahendkoodi sümbolit («1»), vastassuunas magnetiseeritud kiht aga teist («0»).

Signaali taasestamisel indutseerib magnetiseeritud piirkond südamikus magnetvoo ning vastavates mähistes

pinge, mis on võrdeline magnetvoo muutumiskiirusega. Kümme magnetpead, mis paiknevad kõrvuti piki trumli moodustajat, jagavad kogu trumli kümneks salvestusrajaks. Üheksa rada nendest on jagatud kolmeks grupiks. Esimese grupi kolmele rajale salvestatakse kahend-kümnendkoodis kontrollitava parameetri väärtus, teisele ja kolmandale grupile aga ülemine ja alumine piirväärtus. Kümnendale rajale salvestatakse kontrollitava suuruse piirsuurustega võrdlemise tulemus. Pikisuunas jaguneb iga trumli rada viieks tsooniks (joon. 7-46). Igasse töö-



Joon. 7-46. Informatsiooni salvestusskeem magnettrumlil

tsooni salvestatakse üks vastava kahend-kümnendkoodi sümbolitest ning üks tsoon on vaba. Lisaks sellele on magnettrumlil mälusõlmes kolm sünkroniseerimisimpulsside rada. Kõigi kahesaja kontrollitava parameetri väärtused salvestatakse magnettrumlil aadresside järgi, mis vastavad sisendikommutaatori lamellide järjekorranumbreile. Eelnevalt salvestatakse samasse klaviatuuri kaudu kontrollitavate suuruste alumised ja ülemised piirväärtused. Magnettrummel ei ole aga ainuüksi salvestuselemendiks, vaid võimaldab ka kogu masina töö koordineerimist.

Kontrollitavaid parameetreid võrreldakse ülemise ja alumise piirväärtusega digitaalkujul võrdlusskeemi abil, mille tööpõhimõtet vaadeldi eespool (lk. 159). Kui kontrollitav parameeter väljub normaalpiiridest, käivitatakse signali-

satsiooniskeem, mille tulmusena süttib vastava parameetri indikaatorlamp ja tekib helisignaal. Samal ajal käivitub ka juhtlülitus, salvestades magnettrumlil lubamatu hälbe tekkimise fakti (vastava hälbe tunnuse näol). See signaal käivitab ka punasevärvilise trükiseadme hälbe registreerimiseks. Registreerimise eel kantakse kontrollitava parameetri väärtus mälusõlmest väljundiloendurisse (kahend-kümnendkoodina). Edasi toimub koodi muundamine dešifraatoris ning signaal suubub trükiseadmesse, mis on konstrueeritud elektrifitseeritud kirjutusmasina «Rheinmetall» baasil. Registreerimistulemused kantakse erilisele kaardile, mis on jagatud neljaks osaks. Kolme ülemisse ossa trükitakse tulpadena parameetrite perioodilise registreerimise tulemused, alumisse aga lubamatud hälbed.

Kogu masina juhtimiskäskluste kogum on salvestatud magnettrumlile, mille kümne pöörde kestel teostub mingi parameetri kontrolli kogu tsükkel (digitaalmuundamine, salvestamine, piirväärtustega võrdlemine).

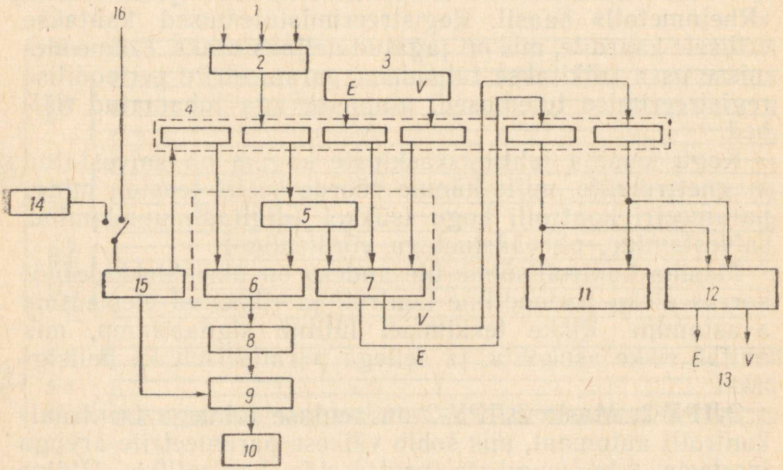
Masina kontrollisõlme ülesandeks on üksikblokkide töökorras oleku perioodiline kontroll ja riknenud elementide avastamine. Rikke tekkimisel lülitub signaallamp, mis näitab rikke asukohta, ja sellega paralleelselt ka helisignaal.

ЭЛРУ-2. Masin ЭЛРУ-2 on aeglase toimega tsentraalkontrolli automaat, mis sobib väikese parameetrite arvuga inertsete tehnoloogiliste protsesside kontrolliks. Üldine tööpõhimõte on seejuures täiesti sarnane varem vaadeldud masinate tööpõhimõttega. Peamisteks iseärasusteks on paljupunktilise registreeriva automaatkompensaatori ЭПП-09 kasutamine parameetrite registreerimiseks ning kahe- ja kolmepositsiooniliste reguleerimisseadiste olemasolu parameetrite režiimide automaatreguleerimiseks. Anduritena saab kasutada termopaare, takistustermomeetreid, gaasianalüsaatoreid, samuti induktsioonanduriga kulumõõtjaid, manomeetreid jne.

Masina ЭЛРУ-2 väljundiseadmena saab kasutada perforaatorit ЛП-5, mille perforeeritud linti võib edasiselt rakendada registreeritud parameetrite suunamiseks elektronarvutisse. Üldse saab masinaga ühendada 58 andurit, mille juures mõõtmis- ja registreerimisaeg ühe mõõtepunkti kohta on 3 sekundit. Seadme väike maht ja väike töökiirus kompenseeritakse konstruktsiooni lihtsusega, väi-

kese energiatarbega, samuti standardsete mõõteriistade kasutamisega.

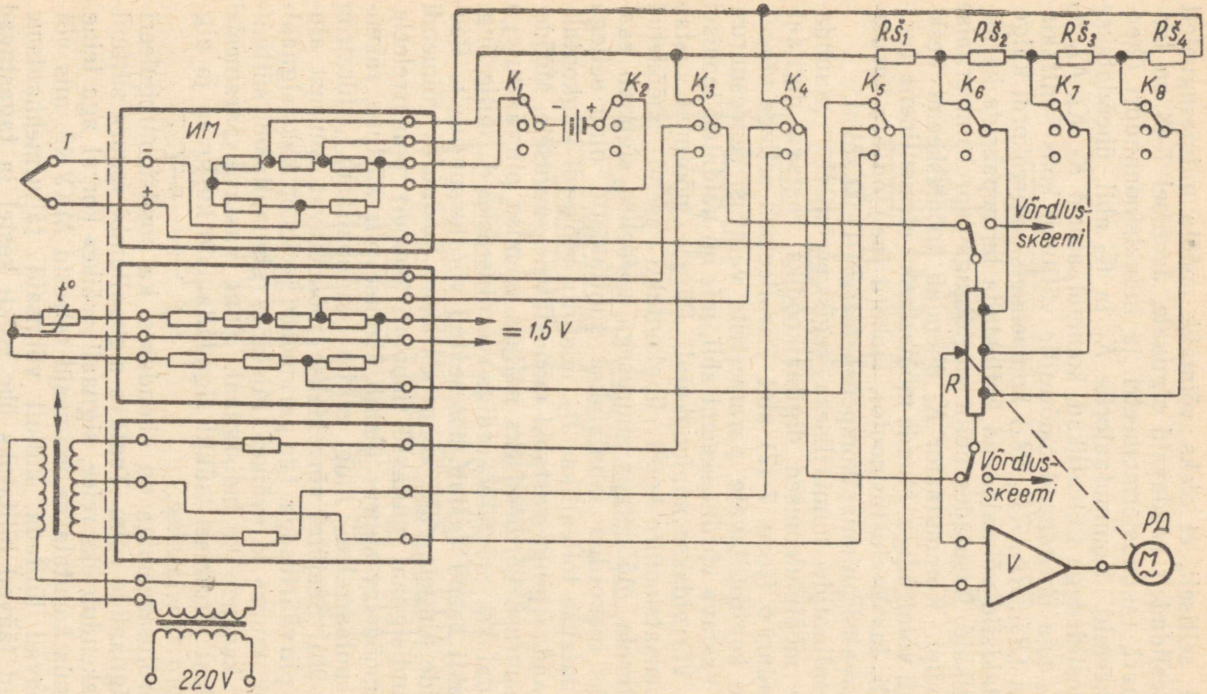
Masina ЭЛРУ-2 blokkskeem on toodud joonisel 7-47. Iga andur ühendatakse vastava sisend-mõõtesillaga *2*. Nende abil muundatakse sisendisignaal pingeks, mis annab võimaluse ühendada masinaga ЭЛРУ-2 kõige mitmesugusemaid andureid. Mõõtesildade montaažplaatide paigutamine vahetult sisendiklemmide juurde võimaldab andurite signaalide individuaalset sobitamist.



Joon 7-47. Tsentraalkontrolli automaadi ЭЛРУ-2 blokkskeem:
1 — andurid; *2* — mõõtesillad; *3* — seadeelemendid; *4* — kommutaator; *5* — mõõteskeem; *6* — digitaalmuundur; *7* — võrdlusskeem; *8* — mastaabiblokk; *9* — trükiseade; *10* — registreerimiskaart; *11* — signalisatsiooniskeem; *12* — releeblokk; *13* — täiturmehhanismid; *14* — impulssandurid; *15* — ajamärkide andur; *16* — ajaimpulsid tsentraalkellalt; *E* — rohkem; *V* — vähem

Kommutaator on seadme üldiseks juhtelemendiks ja ühtlasi sisendisignaalide ümberlülitiks. Elektromehhaaniline kommutaator pannakse tööle elektrimootoriga СД-09 tigureduktori ja maltamehhanismi vahendusel. Selle tulemusena hakkab kommutaator tööle katkeliselt: paigalseisuaeg ühes asendis on 2,25 s, ümberlülitusaeg $^3/_4$ s. Paigalseisuaja kestel toimub parameetri mõõtmine, selle võrdlemine piirväärtustega ja muud operatsioonid.

Sisendisignaale mõõdetakse kompensatsioonimeetodil automaatkompensaatori ЭПП-09 abil, mis on ümber ehi-

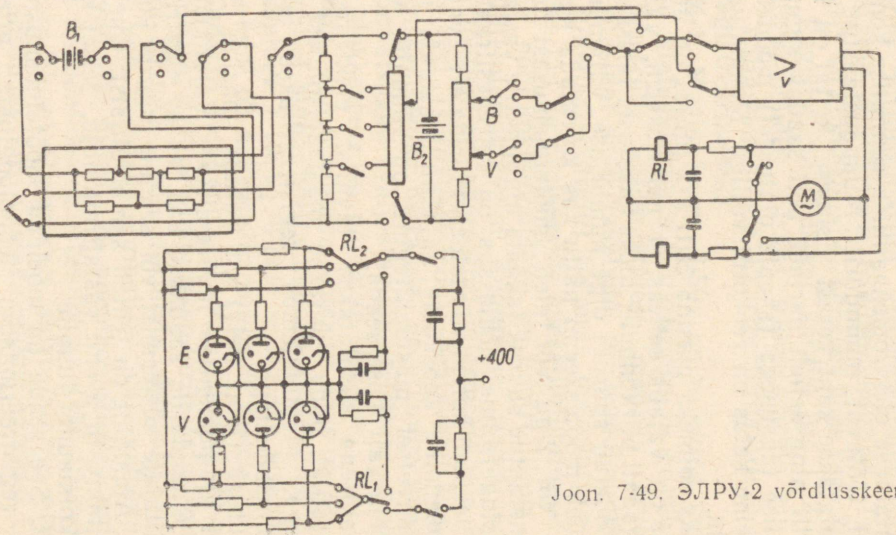


Joon. 7-48. Andurite ühendusskeem masinas ЭЛРУ-2

tatud selliselt, et oleks võimalik mõõta mitmesugustelt mõõtesildadelt saadavaid signaale. Joonisel 7-48 on termopaari, takistustermomeetri ja induktsioonanduri ühendusskeemid. Kommutaatorite K_1 ja K_2 abil ühendatakse mõõtesildadega toiteallikad, kommutaatorid K_3, K_4, K_6, K_7 ja K_8 aga ühendavad mõõtesilla väljundi koos šunttakistitega ($R\check{s}_1$, $R\check{s}_2$, $R\check{s}_3$, $R\check{s}_4$) kompensatsioonireokordi külge. Šunttakistid võimaldavad ühtlustada termopaaride karakteristikuid, kasutades nelja sirglõiguga aproksimeerimise printsiipi. Kommutaator K_5 ühendab mõõteskeemi keskpunkti võimendiga. Muude mõõteskeemi elementidena (võimendi, tasakaalustusmootor, reokord jne.) on ära kasutatud tavalisi automaatkompensaatori ЭПП-09 sõlmi.

Resultaatide numbriliseks registreerimiseks muundatakse mõõtetulemused digitaalkoodiks vastava digitaalmuunduri *6* (joon. 7-47) abil. Paralleelselt sellega võrreldakse kontrollitavate parameetrite väärtusi seadesuurustega vastava võrdlusskeemi abil, mis on näidatud joonisel 7-49. Võrreldakse analoogkujul. Pärast mõõtmist vastab kompensatsioonireokordi liugkontakti asend mõõdetud väärtusele. Mõõdetava suurusega võrdelise signaali saamiseks reokordist lahutatakse šunttakistid ning sellega ühendatakse toiteallikas B_2, mistõttu reokordi liugkontaktilt saadav pinge vastabki mõõdetavale suurusele. Mõõdetud suuruse võrdlemiseks näiteks ülemise piirväärtusega ühendatakse mõõtereokordiga võrdlusreokord, mille liugkontakti asend vastab sisseseatud võrdlussuurusele. Reokordide pingete vahe võimendatakse, kusjuures võimendi väljundisignaal juhitakse (mootori asemel) polaarreleele. Kui mõõdetav suurus ületab ülemise piirväärtuse, rakendub polaarrelee ning süttib signaallamp (türatron MTX-90). Seejärel võrreldakse mõõdetavat suurust alumise piirväärtusega. Iga parameetri jaoks on kaks signaallampi: «suur» ja «väike». Mistahes signaallambi süttimisega kaasneb ka helisignaal. Enne vastava parameetri võrdlust järgmisel tsüklil signaallambid kustuvad ja algolukord taastatakse.

Võrdlusskeemiga on ühenduses ka positsioonreguleerimissignaalide sõlm. Teatava signaallambi «suur» süttimisel rakendub üks relee, signaali «väike» korral aga teine. Skeemis kasutatakse võimsaid releesid МКУ-48, mis võimaldavad lülitada küllalt võimsaid täiturmehhanisme. Releed jäävad lülitatuks ühe tsükli kestel ja tagastuvad



Joon. 7-49. ЭЛРУ-2 võrdlusskeem

vaid vahenditult enne parameetri järgmist võrdlust (nagu signaallambidki). Releed paigutatakse eraldi blokki ning nende arv võib muutuda vastavalt vajadusele. Releeblokk paigaldatakse reguleerimisobjekti vahetusse lähedusse.

Mõõtetulemuste registreerimiskanali digitaalmuundurina kasutatakse elektromehaanilist, ruumilise kodeerimise printsiibil töötavat muundurit. Muundustäpsuse tõstmiseks kasutatakse kaht ketast. Esimesel kettal on 10 juhtivat lamelli ning sellelt harjade abil saadav signaal vastab 10%-lise täpsusega (skaala ulatusest) mõõdetud suurusele. Teine ketas on reokordi võlliga ühendatud reduktori kaudu.

Oluliseks sõlmeks masina ЭЛРУ-2 juures on mastaabiblokk, mis on vajalik selleks, et mõõteskeem, vaatamata sisendisignaali piirkonnale, oleks kasutusel täisskaala ulatuses. Mõõdetud suuruse õige numbrilise väljenduse saamiseks tuleb mõõteskeemi näitu kas korrutada konstantidega 0,5- või 2-ga või tuleb mõõtetulemusest lahutada teatav konstantne suurus (skaala algpunktile vastav väärtus). Mastaabisõlme põhiosaks on releedešifraator, mis sama mõõtekoodi korral võimaldab tüürida erinevaid trükiseadme solenoide kooskõlas vajaliku mastaabi muutmisega. Konkreetset mastaabitegurit on võimalik vastaval paneelil eelnevalt sisse seada.

Trükiseadisena kasutatakse tavalist elektrifitseeritud kirjutusmasinat, mida juhitakse mastaabisõlmest saadud signaalidega. Mõõtetulemus registreeritakse erikaardil kolme kümnendkohaga.

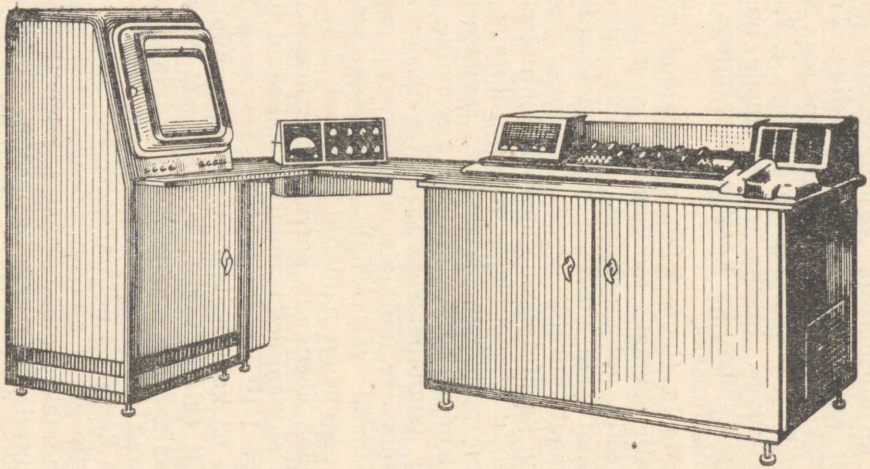
Ajaandur *15* (joon. 7-47) on vajalik masina ЭЛРУ-2 töötamisel ajamomentide määramiseks. Vajalikud lähtesignaalid ajaandurile saadakse kas tehase elektrifitseeritud ajanäitajate süsteemist või seadme juurde kuuluvast eriblokist. Ajaandur on tehtud sammvalijaist. Ühe sammvalija kontaktvõlli asend vastab minutile, teisel kümnele minutile, kolmandal tunnile.

РУМБ-2. See seade on mõeldud mõõtetulemuste automaatseks registreerimiseks tehnoloogiliste protsesside uurimisel. Seetõttu puuduvad siin signalisatsiooni- ja reguleerimisseadised, võrdlus seadesuurustega jne. Kokku on võimalik registreerida kuni 40 parameetrit (temperatuurid, rõhud, kulud). Masin on kohaldatud koostööks unifitseeritud väljundisignaale (alalispinge 0—10 V või alalisvool 0—5 mA) omavate anduritega. Loogikaskeemid on

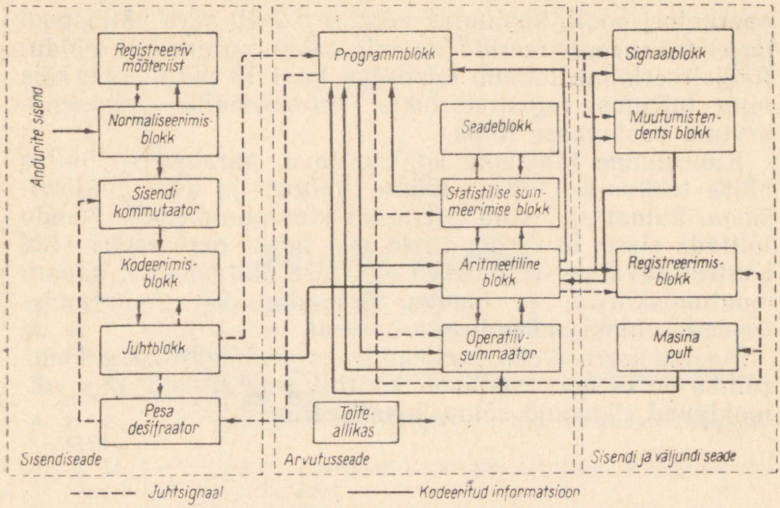
üles ehitatud transistoride baasil. Sisendikommutaatoris kasutatakse väikesegabariidilisi releesid PCM. Andurite signaalide digitaalmuunduris kasutatakse kestusimpulss-printsiipi. Kahendkood muundatakse kümnendkoodiks releedešifraatoriga. Väljundiseade on välja töötatud elektrifitseeritud kirjutusmasina «Rheinmetall» baasil, mis on varustatud äravõetava trükikomplektiga. Trükiseadis registreerib 40 kolmekohalist suurust ühes reas 20 sekundi jooksul. Registreerimistsükkel kordub iga 1, 2, 5, 10 või 20 minuti möödudes. Lisaks trükiseadmele on võimalik signaali väljastamine ka kaartperforaatorisse 20 parameetri registreerimiseks.

МППИ-1. Masin (joon. 7-50) on mõeldud mõõteinformatsiooni ulatuslikumaks töötlemiseks ja erineb muudest tsentraalkontrolli automaatidest mahuka arvutussõlme poolest. Masinat saab kasutada nii tehnoloogiliste protsesside automaatkontrollil keemia-, metallurgia- jt. tööstusharudes kui ka protsesside operatiivjuhtimisel.

Masina põhifunktsioonideks on kontrollitava protsessi kohta lähteinformatsiooni kogumine, registreerimine ja esialgne töötlemine; operaatori informeerimine parameetrite hälvetest (signalisatsioon); teatavate komplekssete tehnilis-majanduslike näitajate arvutamine ning numbrilise informatsiooni väljastamine teistesse seadmetesse. Masina blokkskeem on näidatud joonisel 7-51. Sisendiblokk võimaldab ühendada korraga masinasse kuni 128 unifitseeritud signaalidega andurit (alalisvool 0,5—5 mA või alalispinge 1-10 V). Peale selle saab sisendisse anda signaale kuni 63 kahepositsiooniliselt releetüüpi kontaktivabalt andurilt (alalispinge 12 V, alalisvool 20 mA) ning kuni 9 integraalselt arv-impulssandurilt (alalispinge 12 V, alalisvool 20 mA). Unifitseerimata signaalidega andurite puhul on vaja kasutada normaliseerivaid vahemuundureid, pneumoandurite puhul aga pneumoelektrilisi muundureid. Andurid ühendatakse mõõtesõlmega («küsitlus») vastava programmi alusel. Programm salvestatakse arvutusbloki programmsõlmes, kust vastava anduri aadressi kood juhib dešifraatori kaudu sisendikommutaatorit. Sisendisignaal muundatakse kodeerimissõlmes digitaalseks kahendkoodiks astmelise kompensatsiooni meetodil kiirusega vähemalt 100 muundustsüklit sekundis. Ühe parameetri muundamine digitaalkujule võib toimuda kuni kaks korda sekundis. Küllaldase täpsuse saamiseks kasutatakse



Joon. 7-50. Tsentraalkontrolli automaat МГПИ-1



Joon. 7-51. МПИ-1 blokkskeem

9-kohalist kahendkoodi. See on küllaldane 0,5%-lise muundustäpsuse tagamiseks (arvestatuna mõõtepiirkonna maksimaalväärtuse suhtes). Releeandurite signaalide kontrollisagedus ulatub kuni 1000 signaalini sekundis.

Arvutusblokis toimub andurite signaalide võrdlemine seadesuurustega ning matemaatiline töötlemine, mis võib haarata keskväärtuse leidmist, korrektsioonitegurite arvestamist, integraalide (summade) arvutamist, mõõtetulemuste silumist, samuti mitmesuguste tehnilis-majanduslike näitajate arvutamist. Arvutusblokis kasutatakse kahendkoodi kuni 16 kohaga (fikseeritud komaga), mis võimaldab kuni 940 liitmis-lahutamis- ja 630 korrutamis-jagamisoperatsiooni sooritamist sekundis. Arvutusbloki operatiivmälu mahutab kuni 512 kahendarvu, püsimälu aga kuni 4096 kahendarvu. Mälusõlmed on konstrueeritud ferriitelementidest. Arvutusprogrammil on kuni 27 erinevat käsklust. Operaatoril, samuti väliste signaalidega, on igal hetkel võimalik muuta masina tööjärjestust. Informatsiooni väljastatakse masinast elektrilise trükimasina abil perioodiliselt kuni 128 suuruse tulemusi haaravale standardsele kaardile. Registreerimisintervall on valitav

operaatori poolt, kusjuures viimase soovil võib väljaspool järjekorda registreerida ka mis tahes parameetri näidu. Registreerimine toimub kiirusega kuni 10 märki sekundis ning tulemus registreeritakse kolmekohalise kümnendarvuna vastavasse tulpa.

Kuuekümne tähtsama kontrollitava parameetri juures hälbe tekkimisel lülitub töösse valgus- ja helisignalisatsioon. Samal ajal võib operaator klaviatuurseadise kaudu lülitada sisse osutmõõteriista mis tahes parameetri (128 kontrollitava seast) jooksva väärtuse näitamiseks, samuti muutumiskiiruse ja -suuna fikseerimiseks (muutumistendentsi bloki vahendusel).

Masina korrasoleku perioodiliseks profülaktiliseks kontrolliks on olemas vastavad kontrollprogrammid, mis võimaldavad riknenud sõlme lokaliseerimist.

Soovitatav kirjandus

1. K. Jõudu. Automaatika. ERK, 1962.
2. Ф. Е. Темников. Автоматические регистрирующие приборы. Машгиз, 1960.
3. В. А. Романов. Автоматизация типовых производственных процессов. Энергия, 1964.
4. Н. И. Вершинин и др. Автоматический контроль. Энергия, 1964.
5. И. М Шенброт. Централизованный контроль технологических процессов. ГЭИ, 1961.
6. В. С. Вихман. Электроавтоматика технического контроля изделий машиностроения. Машгиз, 1957.
7. М. В. Кулаков и *С. И. Щепкин.* Автоматические контрольно-измерительные приборы для химических производств. Машгиз, 1961.
8. И. В. Бутусов. Автоматические контрольно-измерительные и регулирующие приборы. Госоптехиздат, 1958.
9. Л. М. Майзель. Методы автоматического учета штучной продукций. ГЭИ, 1962.
10. А. П. Мановцев и *Г. И. Раввик.* Основы телеуправления и телеконтроля, ГЭИ, 1959.
11. В. А. Ильин. Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами. ГЭИ, 1963.
12. В. И. Трапицын. Автоматизация производственных процессов промышленных установок. Машгиз, 1957.
13. Л. Г. Дубицкий. Радиотехнические методы контроля изделий. Машгиз, 1963.
14. Н. Н. Шумиловский и Л. В. Мельтцер. Применение ядерных излучений для автоматического контроля технологических процессов. ГЭИ, 1958.
15. Л. М. Майзель. Автоматический контроль размеров изделий. ГЭИ, 1961.
16. Г. С. Бондарев. Датчики и приборы автоматического контроля для транспортировочных устройств. ГЭИ, 1961.
17. Приборостроение и средства автоматики. Справочник под ред. А. Н. Гаврилова, том II, кн. 2 и том IV. Машиностроение, 1964—1965.
18. Электрические методы автоматического контроля, под ред. К. Б. Карандеева. Энергия, 1965.

73 kop.

A-27958

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00410360 4