

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Energētikas un elektrotehnikas fakultāte
Industriālās elektronikas un elektrotehnikas institūts

Roman GRAF
Elektriskā piedziņa un automātikas doktora programmas doktorants
(doktor.apl.nr 921E13040)

**MIKROPIEDZIŅAS IEKĀRTA TAKTILĀ ATTĒLA
PĀARRAIDEI NEREDZĪGAJIEM**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs
Dr. Habil. Sc. ing., Profesors
JĀNIS GREIVULIS

RTU Izdevniecība
Rīga - 2004

**PROMOCIJAS DARBS
IZVIRZĪTS RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTĒ INŽENIERZINĀTŅU
DOKTORA GRĀDA IEGŪŠANAI**

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts
..... Rīgas Tehniskās universitātes Enerģētikas un elektrotehnikas fakultātē,

OFICIĀLIE OPONENTI

Profesors, Dr.habil.sc.ing. I. Raņķis, Rīgas
Tehniskā Universitāte, Latvija

Profesors, Dr.habil.sc.ing. J. Osis, Rīgas
Tehniskā Universitāte, Latvija

Profesors, Dr.habil.sc.ing. A. Šnīders, Latvijas
Lauksaimniecības Universitāte, Latvija

APSTIPRINĀJUMS

Es apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kurš iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskā Universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

RomanGraf

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts krievu valoda, satur anotāciju, pieņemto apzīmējumu sarakstu, 4 nodaļas, slēdzienu, literatūras sarakstu, 5 pielikumus, 37 attēlus un ilustrācijas, kopā 103 lappuses. Literatūras sarakstā ir 44 nosaukumi.

SATURS

Saturs.....	4
Pieņemto apzīmējumu saraksts.....	5
Darba vispārējais raksturojums	8
Darba aktualitāte	8
Darba mērķis, pētījuma objekts un uzdevumi	8
Pētījuma metodes un darba zinātniskā novitāte.....	9
Iegūtie rezultāti un darba praktiskā vērtība	9
Darba aprobācija	9
Izgudrojuma patents	10
Darba struktūra un anotācija	10
1. Pētījumu objekts un nostādne	11
2. Taktilografiskā attēla neredzīgajiem moduļa mikropiedziņas analīze.....	12
3. Braila displeja vadības sistēma.....	20
4. Taktilografiskā moduļa eksperimentālais paraugs un tā darbības loģiskie algoritmi	27
Kopējie secinājumi	34
Literatūras saraksts	35
Autora publikācijas	35
Izgudrojuma patents	35

PIEŅEMTO APZĪMĒJUMU SARAKSTS

I nodaļā:

SAĪ - sakausējumi ar atmiņas īpašībām (Shape Memory Alloys)

II nodaļā:

Ni-Ti	- sakausējums no niķeļa un titāna;	
S	- stieples diametrs;	[cm ²]
A _s	- austenīta sākuma temperatūra;	[°C]
A _F	- austenīta beigu temperatūra;	[°C]
M _s	- martensīta sākuma temperatūra;	[°C]
M _F	- martensīta beigu temperatūra;	[°C]
y	- Ni-Ti sakausējuma režģa nobīdne;	[m]
τ	- nobīdnes transformācijas slodze;	[N]
Φ	- SAĪ slāņu kopējā potenciālā enerģija;	[J]
Φ ₀	- SAĪ slāņu kopējā potenciālā enerģija bez slodzes;	[J]
t	- SAĪ stieples silšanas vai dzesēšanas laiks;	[s]
F _{st}	- statiskā spēka lielums;	[N]
F _{dm}	- dinamiskā spēka lielums;	[N]
P ₀	- slodze;	[N]
J	- Džoula enerģija;	[J]
K _F	- koeficients bez dimensijas;	
K _{AM}	- austenītās un martensītās fāzes koeficienti;	[1/J]
L	- SAĪ stieples garums;	[m]
R	- SAĪ stieples elektriskā pretestība;	[Ω]
W _e	- SAĪ stieples viena elementa patērētāja jauda ;	[W]
I	- elektriskās strāvas stiprums caur SAĪ stiepli;	[A]
U	- SAĪ stieplei pieslēgtais spriegums;	[V]
V _L	- stieples garuma izmaiņas ātrums;	[m/s]
t ₀ , t ₁ , t ₂	- SAĪ modeļa cikla sadalījums laika posmos;	[s]
L ₀ , L ₁ , L ₂	- SAĪ modeļa cikla garuma sadalījums;	[m]
a, b, c, m, n	- SAĪ matemātiskā modeļa aprēķina koeficienti;	
x, y, z	- koordināšu asis;	
T	- Ni-Ti stieples temperatūra;	[°C]
α	- termiskās izplešanās koeficients;	[1/°C]
β	- siltumvadāmības koeficients;	[W/cm ⁴ C]
ρ	- stieples īpatnējā pretestība;	[Ωcm]
ρ ₀	- stieples sākuma īpatnējā pretestība;	[Ωcm]
κ	- siltuma pārvades koeficients;	[W/cm ² °C]
K ₀	- virsmas efekta koeficients;	
θ	- stieples ar strāvu temperatūra;	[°C]
θ ₀	- apkārtējās vides temperatūra;	[°C]

ϑ_n	- sākotnējā temperatūra;	[°C]
ϑ_y	- nostabilizējusies temperatūra;	[°C]
C	- silšanas temperatūras konstante;	[°C]
δ	- strāvas blīvums;	[A/cm ²]
m	- stieples īpatsvars;	[g/cm ³]
c	- stieples siltumietilpības koeficients;	[J/cm ³ °C]
c_0	- sākotnējā īpatnējā siltumietilpība;	[J/cm ³ °C]
τ_0	- aizvietošanas konstante.	

III nodaļā:

TPBLD	tiešās piedziņas bezkolektora līdzstrāvas dzinējs;
RSD	rotora stāvokļa devējs;
ARS	automātiskās regulēšanas sistēma;
I ² C	Internai Integrated Circuit - secīgas datu pārraides standarts;
N _k	Braila displeja suporta uzdotā stāvokļa ciparu kods;
N _d	dzinēja vadības signāla kods;
MOTOR FG	dzinēja rotora griešanās frekvences devēja signāls;
N _F	Braila displeja suporta absolūtā stāvokļa devēja signāls;
MOTOR CTL	servokontrolera izejas signāls;
MOTOR REV	dzinēja reversa signāls;
CURRENT	statora tinumu strāvas pārslodzes signāls;
LIMIT	
N _C	dzinēja griešanās ātruma kods;
PG	rotora stāvokļa devēja signāls;
PK	Braila displeja suporta relatīvā stāvokļa devēja signāls;
p	Laplasa operators;
X _F	suporta faktiskā stāvokļa lielums;
X _K	suporta uzdotā (ar kodu N _K) stāvokļa lielums;
X _{FS}	suporta faktiskā stāvokļa lielums ievērojot suporta stāvokļa devēja pārvades funkciju;
ΔX	starpība starp lielumiem X _K un X _{FS} ;
K ₀	proporcionalitātes koeficients;
K _N	nonlinearitātes koeficients, kurā ir atkarīgs no funkcijas (X _F - X _K);
T ₁	pārejas procesa laika konstante;
W _{M(p)}	servokontrolera un dzinēja pārvades funkcija;
W _{S(p)}	suporta stāvokļa devēja pārvades funkcija;
W _{S1(p)}	posma ar kavējumu pārvades funkcija;
W _{S2(p)}	inerces posma pārvades funkcija;
W _{E(p)}	nenoslēgtas sistēmas pārvades funkcija;
W _{Z(p)}	noslēgtās sistēmas pārvades funkcija;
K ₁	servokontrolera un dzinēja pārvades (pastiprinājuma) koeficients;
T _{S1} , T _{S2}	laika konstantes;
H(t)	normēta pārvades raksturlielne.

IV nodaļa:

λ	- atteices intensitāte;	[1/h]
t	- gada laika intervāls;	[h]
Q	- atteices varbūtība;	[h]
T _d	- vidējais nostrādes laiks līdz viena displeja elementa atteicei;	[h]
T _m	- vidējais nostrādes laiks līdz visa moduļa atteicei;	[h]
P(t)	- iekārtas bezatteices darba varbūtība 20 gadu laikā;	[%]
T ₀	- mikropiedziņas viens darba cikls;	[s]
T _H	- informācijas glabāšanas apakšcikls (skaitīšanas);	[s]
T _R	- apakšcikls attēla informācijas ierakstīšanai matricā;	[s]
T _E	- informācijas dzēšanas apakšcikls (intensīvā nogludināšana);	[s]
T _s	- taktilo sajūtu laika konstante;	[s]
l	- RAM adreses kārtu skaits;	
n	- SAĪ stiepju skaits;	
U	- līdzstrāva;	[V]
Si	- elektriskie slēdži katram moduļa taustiņam;	
W	- elektriska jauda visam moduļim;	[W]
I	- elektriskā strāva vienam elementam.	[A]

DARBA VISPĀRĒJAIS RAKSTUROJUMS

Darba aktualitāte

Viens no prioritāriem virzieniem zinātniskās pētīšanas un tehnoloģijas attīstībā ir plaša spektra tehniskās iekārtas rādīšana, kas ļauj cilvēkam ar dažāda veida funkcionāliem traucējumiem pilnvērtīgi piedalīties sabiedriskajā dzīvē. Redze ir svarīgākais cilvēka informācijas iegūšanas kanāls par apkārtējo pasauli. Vairāk nekā divas trešdaļas no tās pilnā apjoma tiek uztverta redzamā tēla veidā. Funkcionālie redzes traucējumi, kā arī tās daļēji zudumi līdz pat pilnīgam aklumam ievērojami ierobežo cilvēku iespējas informācijas saņemšanā un viņu profesionālo iemaņu attīstībā. Mūsdienu ražošanas un sabiedrības dzīve ir cieši saistīta ar datoru tehnoloģiju un tās izmantošanas iespēja tiek uzskatīta kā viena no pazīmēm cilvēka iesaistē zinātniski-tehniskajā un sociālajā progresā. Tātad aktuāls kļūst uzdevums ekonomiski efektīvas sistēmas dators - cilvēks izveidei, kas domāta lai nodrošinātu cilvēku ar funkcionāliem redzes trūkumiem (aklumu) savstarpēju iedarbību ar personālu datoru.

Pēc funkcionēšanas principa tādām iekārtām jābūt takti loģiskām t.i. vizuālās informācijas pārveidotājām takti (aptaustāmā) ekvivalentā. Tā kā pati tāda ideja informācijas pārveidošanā pieder Brailam, kurš radīja izkļiedēto šriftu, tad loģiskais nosaukums minētajām sajūgšanas modulim būtu: "takti loģiskais Braila displejs". Šā darba ietvaros eksistējošās takti loģiskās iekārtas veiktā analīze rāda, ka pašlaik tādas iekārtas ir tikai Braila teksta pārraidei, bet grafikas attēlojums vispār nav paredzēts. Galvenā zinātniski-tehniskā problēma takti loģiskā displeja konstruēšanā saistīta ar mikropiedziņas sistēmas projektēšanu, kura nodrošina reljefu attēlojumu ar uzdotām dinamiskām īpašībām ievērojama izmēra laukumā.

Darba mērķis, pētījuma objekts un uzdevumi

Promocijas darba mērķis ir kvalitatīva takti loģiskā Braila displeja konstruēšana, kas ir spējīga ātri parādīt takti loģisko attēlojumu ar lielu izšķiršanas spēju un kam raksturīga relatīvi zema ražošanas cena un augsts drošums.

Šā mērķa sasniegšanai bija vajadzīgi teorētiski un eksperimentāli pētījumi sekojošos virzienos:

- takti loģiskā Braila displeja drošuma tehnisko prasību izstrādāšana, pamatojoties uz lietotāja psihofizioloģisko īpašību analīzi;
- dinamisko reljefa attēlu veidošanas dažādo metožu pētīšana;
- teorētiski un eksperimentāli struktūras un shēmatiskās risinājumu pētījumi, kas realizē izvēlēto dinamisko reljefa attēlu veidošanas principus;
- dzinēju vadības sistēmas dinamisko īpašību analīze kā piedāvātā takti loģiskā displeja struktūras bāzes risinājums;
- takti loģiskā Braila displeja elektriskā shēmu un galveno funkcionālo mezglu izveide.

Pētījuma metodes un darba zinātniskā novitāte

Pētījumi un izstrāde saskaņā ar izvirzītajiem mērķiem tika veikta ar matemātiskām, datoru un fizikālām modelēšanas metodēm. Eksperimentu veikšanā izmantota Vīnes Tehniskās universitātes Mikromehānikas Institūta bāze un laboratorijas iekārtas, mērsistēma DEWETRON, ka arī programmu paketes DasyLab 4.01.10 un MS Excel 2000. Promocijas darba zinātniskā novitāte ir:

- izstrādātas taktiografiskā Braila displeja tehniskās prasības, ņemot vērā lietotāja psihofizioloģiskās īpašības;
- izstrādāta metode reljefa attēla veidošanai taktiografiskajā Braila displejā, pamatojoties uz SAĪ (sakausējums ar atmiņas īpašībām) stieņu stāvokļa matricu;
- veikta SAĪ stieples darbības analīze displeja struktūrā;
- veikta SAĪ stieples termiskā (silšanas/dzesēšanas) efekta analīze displeja struktūrā;
- izstrādāta taktiografiskā Braila displeja kustīgā moduļa un vadības mezgla struktūra;
- veikta displeja dzinēja vadības sistēmas dinamisko īpašību analīze;
- pamatota reljefa attēla metode pamatojoties uz ciklisko SAĪ stieņu stāvokļa vadību.

Braila displeja konstrukcijas zinātniskā novitāte aizstāvēta ar patentu.

Iegūtie rezultāti un darba praktiskā vērtība

Iegūtie rezultāti ļauj atrisināt kvalitatīvu taktiografiskā Braila displeja konstruēšanas uzdevumu. Tika publicēti seši darbi, kas atspoguļo veikto pētījumu saturu. Vīnes Tehniskās Universitātes Mikromehānikas Institūta laboratorijas bāzē konstruēts un izpētīts taktiografiskā Braila displeja kustīgā moduļa paraugs. Izvirzītā konstrukcija ļauj labāk iekļaut vājredzīgos sabiedriskajā dzīvē un paplašina to izglītības un darba iespējas.

Darba aprobācija

Disertācijas tēmas pētījumu rezultātu aprobācija tika izpildīta darba autoram uzstājoties zinātniski-tehniskajās konferencēs:

- Micro Actuation Principles for Tactile Graphic Displays (state of the art and recent efforts). Proc of the MME'99, september 27-28,1999, Gif sur Yvette, France, pp. 247-250.
- Development of microactuators for tactile graphic displays {state of the art and recent efforts). Proc of the 22nd International Conference on Microelectronics (MIEL 2000), Vol 2, may 14-17, 2000, Niš, Serbia, pp. 573-576.
- Šķidrums ar īpašajām elektriskajām struktūrām pielietojums Braila displeja izveidē, "Enerģētika un elektrotehnika" RTU zinātniskie raksti, sērija 4, sējums 5, Rīga 2002, izdevniecība RTU, Ipp. 110-113.
- Braila displeja dzinēja vadības sistēmas dinamisko raksturlīkņu analīze, "Enerģētika un elektrotehnika" RTU zinātniskie raksti, sērija 4, sējums 7, Rīga 2002, izdevniecība RTU, Ipp. 105-110.
- Experimental Research: Shape Memory Alloys - Actuator for Using in Movable Graphical Device for Visually Impaired People, Mikroelektronik 2003, October 1-2, 2003, Vienna, Austria.

Izgdrojuma patents

Disertācijas darba taktilgrafiskā Braila displeja konstrukcijas novitāte aizstāvēta ar Austrijas patentu: A 259/2003, "Kompaktes Bewegliches Taktiles Modul Mit Formgedachtnislegierimgen-Antrieb", 20.02.2003.

Darba struktūra un anotācija

Šā darba ietvaros ir izskatīti sekojoši jautājumi: taktilgrafiskā attēla mikropiedziņa, mikropiedziņas īpašību pētīšanas eksperimentālā sistēma, mikropiedziņas grafoanalītiskā analīze, Ni-Ti-mikropiedziņas vadības sistēma un taktilgrafiskā moduļa eksperimentālais paraugs.

Pirmajā nodaļā izklāstīts jautājums par aktualitātēm Sājā nozarē, pamatojoties uz patentu un literatūras meklējumiem. Stīki izanalizētas galvenās Šī jautājuma risinājumu koncepcijas un piedziņu projektēšanas principi, kas nodrošina Braila displeja darbību. Pamatojoties uz veiktajām analīzēm, parādītas patentēto iekārtu priekšrocības un trūkumi, novērtētas ražošanas iespējas un to izmaksas. Disertācijā izskatīts jautājums arī no medicīniskā un psiholoģiskā viedokļa. Apskatītas redzes invalīdu problēmas. Izskatītas prasības Braila displeja konstruēšanā ar Braila raksta ģeometriju. Izskatīta nostādne Braila displeja moduļa konstruēšanā, piedāvāta uzstādītā uzdevuma principiālais risinājums un formulēta konkrēta koncepcija.

Otrajā nodaļā aprakstīta eksperimentālā Ni-Ti-mikropiedziņas pētīšanas sistēmas konstrukcija un pielietojums. Analizētas Ni-Ti-mikropiedziņas statiskās un dinamiskās raksturlielnes. Grafoanalītiskās analīzes rezultāts salīdzināts ar eksperimentālajiem datiem. Aprēķināta mikropiedziņas ciklā patērētā enerģija. Pētījumu rezultāts salīdzināts ar darba uzdevumu un mikropiedziņai izvirzītajām prasībām. Pamatota konstruētā taktilgrafiskā displeja pielietošanas iespēja.

Trešajā nodaļā izpētīti vadības principi."Definēts dzinēja un mikropiedziņas vadības mezgls. Izvēlēts taktilgrafiskā moduļa vadībai izmantojamo dzinēju tips. Pamatota automātiskās regulēšanas sistēmas struktūra. Piedāvāta divkanālu ARS vadības metode, kas pamatota ar iegūtiem analīzes rezultātiem.

Ceturtajā nodaļā piedāvāts izstrādātās konstrukcijas pielietojums. Aprakstīts kustīgā Braila displeja moduļa paraugs. Izskatīta tās montāža un pielietojums. Salīdzinātas atrastā risinājuma priekšrocības un trūkumi.

1. PĒTĪJUMU OBJEKTS UN NOSTĀDNE

Pirmajā nodaļā izstrādātas prasības Braila displejam konstrukcijai. Braila displejs ir ierīce, kas neredzīgajiem ļauj nolasīt teksta vai grafisko informāciju, pieskaroties displeja taustiņām. Uz displeja virsmas vienlaicīgi izvietots liels skaits kustīgu taustiņu (attēla punktu), kuri var atrasties paceltā vai nolaistā stāvoklī. Taustiņi tiek vadīti tādā veidā, lai to sakārtots izvietojums parādītu taktilografisko attēlu vai tekstu.

1.1. tabula

Klasificētās prasības Braila displeja konstrukcijai

Prasības	Minimāli	Jābūt	Ideāli	Izmēru lielums	Pamatojums
Attālums starp taustiņiem	0.8	1.5	<1,00	mm	Braila ģeometrija
Taustiņa diametrs	0.6	0.6-1	0-8	mm	Braila ģeometrija
Taustiņa augstums	0.4	0.-6-1.2	0.8-1	mm	Braila ģeometrija
Taustiņu daudzums	6930	27580	>62370	gab.	displeja gabarīti
Attālums starp rindām	3.0	3.5	3.5	mm	Braila ģeometrija
Attālums starp rindām	4.0	5.0	5.0	mm	Braila ģeometrija
Slodze uz taustiņu	0.02	<0.3	0.05-0.15	N	mikropiedziņas īpašības
Vienu cikla laiks	>10	<1	0.1-1	s	vadības tehnika
Iekārtas gabarīti	26x20	297x210	640x480	mm	biroja variants
Braila displeja izmaksas	1000	<1000	<500	Ls	ražošanas cena

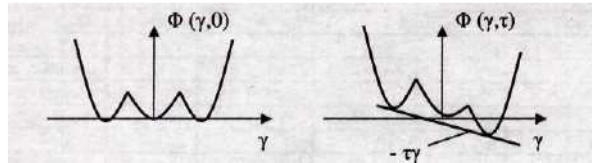
Tabula 1.1 izstrādātās prasības noteiktas atbilstoši attēla lielumam: attālumam starp taustiņiem 1mm, taustiņa diametram 0.8mm, taustiņa garumam 1 mm. Taustiņu kopskaits 27580. Slodze uz taustiņu 0.05N. Iekārtas izmēri 297mm x 210mm. Attēla iestatīšanas viena cikla laiks 1 sekunde. Aptuvenā iekārtas izmaksa 500Ls - 1000Ls.

Mehāniskās, piezoelektriskās un elektromehāniskās mikropiedziņas neļauj radīt attēlu ar lielu izšķirtspēju un tām ir sarežģīta konstrukcija. Mehāniskās un elektromehāniskās piedziņas ir ar mazu drošumu. Pazīstamās elektrostātiskās mikropiedziņas konstrukcijas nenodrošina nepieciešamo spēku, lai radītu pretdarbību lietotāja pirkstam. Īpašu polimēru mikropiedziņas neatbilst attēlu iestatīšanas laika prasībām. Elektrovisko mikropiedziņas ir ar sarežģītu konstrukciju un tām nepieciešams augstspriegums, kas strauji samazina iekārtas drošumu.

Balstoties uz patentu pētījumiem un literatūru par mikropiedziņas iekārtām taktilografiskā attēla pārraidīšanai neredzīgajiem (8, 11), secināts, ka pašlaik neeksistē ekonomiski un konstruktīvi pamatota konstrukcija Braila teksta pārraidīšanai un grafiskam attēlam. Nedaudzas sarežģītas iekārtas paredzētas grafiku attēlošanai, bet tās tikai daļēji atbilst neredzīgo prasībām informācijas iegūšanā.

2. TAKTILOGRAFISKĀ ATTĒLA NEREDŽĪGAJIEM MODUĻA MIKROPIEDZIŅAS ANALĪZE

Otrā nodaļa veltīta taktiografiskā Braila displeja mikropiedziņas izvērtējumam. Pirmajā nodaļā izvirzītās prasības nosaka informācijas moduļa izpildelementu (mikropiedziņu) - stieplu izvēli, kas izgatavotas no Ni-Ti sakausējuma ar tā saucamajām sakausējuma atmiņas īpašībām (SAĪ) [8, 9]. Ni-Ti sakausējuma izmantošanas galvenā priekšrocība ir tā lielā elektriskā pretestība. Stiepli var aktivizēt ar elektrisko strāvu. Formas atmiņas fenomens bāzēts uz fāzes pārēju sakausējuma kristāliskajā režģī, ko sauc par martensīta transformāciju [4]. Pie tam kristālā notiek bezdifūzijas transformācijas starp dažādiem martensīta fāzes variantiem vai arī no martensīta fāzes austenītā. Atkarībā no nobīdnes y režģa daļām parādās potenciālā enerģija (2.1.att.)



2.1.att. Potenciāla enerģija režģa daļas ka funkcija no režģa nobīdnes

Trīs potenciālie "iekritumi" atbilst vienai no augstāk minētajām fāzēm. Nobīdnes transformācijas slodzes T iedarbībā veiktais darbs $-ty$ summēts ar potenciālo enerģiju, kā tas dots (2.1.att.), ir sekojošs:

$$\Phi(\gamma) = \begin{cases} \frac{1}{2} K_M (\tau\gamma - J)^2, \\ \frac{1}{2} K_A (\tau\gamma)^2 + \Phi_0, \\ \frac{1}{2} K_M (\tau\gamma + J)^2. \end{cases} \quad (2.1)$$

Izteiksme (2.1) dod iespēju aprakstīt sakarību starp SAĪ mikropiedziņas statiskā spēka vērtību F_{st} un dinamisko vērtību F_{din} . Slodzes P_0 gadījumā SAĪ mikropiedziņas statiskā spēka vērtība F_{st} pēc savas būtības ir balsta reakcija $F_{st} = -P_0$. Dinamiskā spēka vērtību F_{din} varam aprēķināt no izteiksmes:

$$F_{din} = \frac{d\Phi}{dL} k_F, \quad (2.2)$$

kur k_F - bezdimensijas koeficients (tuvu 1), kas ievēro elementārā slāņa potenciālās enerģijas daļēju pārēju Brauna kustības kinētiskajā enerģijā.

Tādā veidā, kopējais spēks, ko rada piedziņa ir:

$$F_{st} + F_{din} = \frac{d\Phi}{dL} k_F - P_0. \quad (2.3)$$

Mainot SAĪ izmērus tieši ar elektrisko enerģiju, silšanas enerģija J izsauc potenciālās enerģijas $\Delta\Phi$ izmaiņu:

$$\Delta\Phi \approx J \quad , \quad (2.4)$$

$$J = UI\Delta t \quad , \quad (2.5)$$

kur Δt - laika intervāls kurā plūst elektriska strāva.

Pārejot no galīgā palielinājuma $\Delta\Phi >$ pie bezgalīgi maziem lielumiem $\Delta\Phi$ un ievietojot (2.5) izteiksmē (2.3), iegūstam mikropiedziņas vadības likumību:

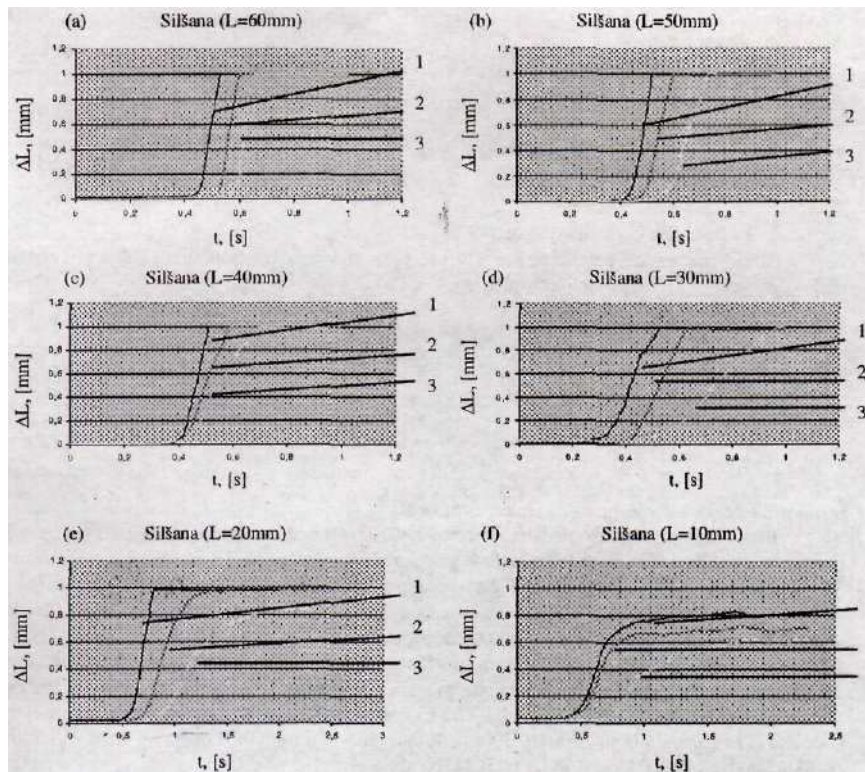
$$F_{st} + F_{din} = \frac{U(t)I(t)}{V_L} k_F - P_{ij} \quad , \quad (2.6)$$

$$V_L = \frac{dL}{dt} \quad , \quad (2.7)$$

ir mikropiedziņas stieples garuma izmaiņas ātrums.

Eksperimentālā mikropiedziņas pētīšana [7] dod iespēju noteikt Ni-Ti stieples garuma izmaiņas sakarību atkarībā no laika $L=f(t)$. Tā rezultātā iegūstam Ni-Ti stieples izmaiņas ātrumu V_L no (2.6) un (2.7). Eksperimentā kā vienā no variantiem izmantota Ni-Ti stieple [1] ar diametru 50 μm , darba temperatūru 90°C, maksimālo slodzi 0.343N, pretestību 4,72 Ω (garums 10mm) un minimālo strāvu 50mA. Rekomendētā slodze atrodas starp $0,034\text{N} < F < 0,343\text{N}$. Lai sasniegtu stieples garuma izmaiņas 1mm, jāievēro, ka pie silšanas stieple saīsinās par apmēram 3%. Tad minimālais eksperimentam vajadzīgais stieples garums $L = 1\text{mm}/0,03 = 30\text{mm}$. Pie tāda garuma patērētā jauda ir $W_e = I^2R = 0,07\text{W}$. Eksperimentāli tika pārbaudīta Ni-Ti sakausējuma stieples, kuru garumi 10mm, 20mm, 30mm, 40mm, 50mm un 60mm. Katram no šiem variantiem pieliktā slodze bija 0,049N, 0,147N un 0,245N atbilstoši.

Eksperimentālās iekārtas mērīšanas sistēma bāzēta uz lāzera avota gaismas intensitātes mērījumiem. Lāzera avota izejošā gaisma tika uztverta ar fotoelementu, nosakot gaismas intensitātes maiņu atkarībā no stieplei pieliktā elektriskā sprieguma [2]. Mērījumu rezultāti rāda, ka sildot stieples saraušanās pie mazākas slodzes notiek ātrāk nekā pie lielākas (2.2.att.), tāpēc ka noteikta garuma stieplei ir pastāvīgs spiedes spēks, kurš ir atkarīgs no stieples elektriskās pretestības, garuma un resnuma, kā arī no caur to plūstošās elektriskās strāvas. Tādējādi, spiede notiek lēnāk pie lielākas slodzes tāpēc, ka lielāka pretspēka pārvarēšanai nepieciešams ilgāks laiks. Jo garāka ir stieple, jo vairāk tā sasilst un jo ātrāk saspiežas. Kā redzams, (2.2f.att.) stieple ar garumu 10mm nevar sasniegt vajadzīgo spēku, lai panāktu garuma izmaiņu 1mm. Stieple ar garumu 20mm (2.2e.att.) šo izmaiņu panāks 0,45 sekundēs pie slodzes 0,049N, bet pie slodzes 0,147N tai vajadzīga jau apmēram 1 sekunde un pie slodzes 0,245N šo garuma izmaiņu vispār nevar sasniegt. Stieple ar 30mm garumu (2.2d.att.) sasniegs uzdoto garuma izmaiņu pie visām slodzēm. Visātrāk garuma izmaiņu 1mm var sasniegt izmantojot stiepli ar garumu 60mm (2.2a.att.) Pie 0,049N slodzes saspiešanās laiks aizņem tikai 0,1 sekundi (2.1.tabula).



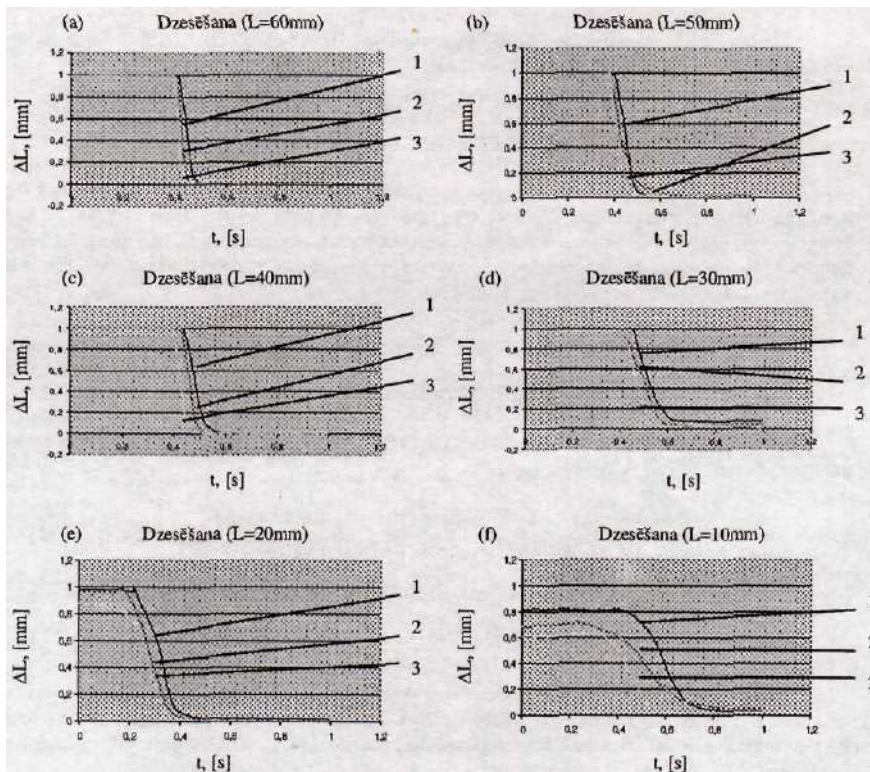
2.2.att. SAĪ stieples garuma izmaiņa laikā pie stieples silšanas atkarība no slodzes, kur līkne 1 atbilst 0.049N, līkne 2 atbilst 0.147N un līkne 3 atbilst 0.245N

Stieples dzešēšana, kas parādīta 2.3.att., rada tās izplešanos. Jo garāka ir stieple, jo ātrāk tā izplešas, tāpēc: ka tai ir lielāks virsmas laukums. Tāpat, jo lielāks atgriezējspēks (eksperimentā tā ir masa, bet reāli tā ir atgriezējatspere) pielikts pie stieples, jo ātrāk tā izplešas.

2.1.tabula

Eksperimenta rezultāti ar SAĪ stiepli

Slodze, [N]	Stieples garums, [mm]	Stieples pretestība, [Ω]	Silšanas jauda, [W]	Saspiešanas laiks, [s]	Izplešanas laiks, [s]
0,049	20 - 40	9,4 - 18,8	0,046 - 0,092	0,12 - 0,30	0,12 - 0,25
0,147	20 - 40	9,4 - 18,8	0,046 - 0,092	0,18 - 0,60	0,09 - 0,24
0,245	30 - 40	14,1 - 18,8	0,069 - 0,092	0,30 - 0,70	0,05 - 0,23



2.3.att. SAĪ stieples garuma izmaiņas laikā pie stieples dzesēšanas atkarībā no slodzes, kur līkne 1 atbilst 0.049N, līkne 2 atbilst 0,147N un līkne 3 atbilst 0.245N

Stieple no sakausējuma ar atmiņas īpašībām ar diametru 50μm un garumu 30mm var radīt pietiekamu spēku, lai pārvarētu atgriežamsperes iedarbību (2.2d.att.)- Pie slodzes 0,049N saspišanas laiks ir 0,15 sekundes, pie slodzes 0,147N - 0,4 sekundes un pie slodzes 0,245N - 0,7 sekundes. Bez tam pie dzesēšanas stieple ir spējīga izplesties pietiekami ātri (2.3d.att). Pie optimālās slodzes 0,049N tās izplešanas laiks ir 0,17 sekundes. Ni-Ti stieple ar šiem parametriem ir pieņemta par pamatu izmantošanā kā taktilgrafiskās iekārtas neredzīgajiem mikropiedziņa.

Mikropiedziņas matemātiskā modeļa izvēlētais stieples garums 30mm. Aprēķinam izvēlēta visoptimālākā slodze 0,049N. Likumsakarību $L=f(t)$ vispārējā veidā var aprēķināt ar Lagranža polinoma pielietojumu trīs uzdotajiem punktiem:

$$L = \frac{(t-t_1)(t-t_2)}{(t_0-t_1)(t_0-t_2)} L_0 + \frac{(t-t_2)(t-t_0)}{(t_1-t_0)(t_1-t_2)} L_1 + \frac{(t-t_0)(t-t_1)}{(t_2-t_0)(t_2-t_1)} L_2 \quad (2.8)$$

Ņemot vērā komplicēto funkcijas raksturu, ir lietderīgi to reducēt uz dažām vienkāršākajām funkcijām un sadalīt divās daļās:

$$L = \begin{cases} f_1(t) & , \text{robežās } T = 23^\circ\text{C līdz } T = 68^\circ\text{C}; \\ f_2(t) & , \text{robežās } T = 68^\circ\text{C līdz } T = 90^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (2.9)$$

Funkcija $f_1(t)$ raksturo silšanas procesu no atdzesēta stāvokļa pie istabas temperatūras līdz austenīta sākuma temperatūrai A_s , kad sāk izpausties atmiņas formas iegūšanas efekts. Funkcija $f_2(t)$ raksturo silšanas procesu no austenīta sākuma temperatūras A_s līdz austenīta beigu temperatūrai A_f . Pēc tās sasniegšanas atmiņas iegūšanas efekta ietekme beidzas. Pēc attiecīgiem matemātiskiem pārveidojumiem (2.9) iegūst:

$$L = \begin{cases} 4,6t^2 - 0,26t + 0,012 & , \text{robežās } [0;0] \text{ līdz } [0,24;0,21]; \\ 4,3t - 0,85 & , \text{robežās } [0,243;0,2] \text{ līdz } [0,429;1]. \end{cases} \quad (2.10)$$

Stiepli dzesējot pie optimālas slodzes 0,049N (2.3d.att), funkcijas $L=f(t)$ aprēķins notiek analogiskā veidā. Tātad, vienādojums (2.9) ir sekojošs:

$$L = \begin{cases} -8,14t + 0,97 & , \text{robežās } [0;0,97] \text{ līdz } [0,4;0,07]; \\ 1,94t^2 - 0,71t + 0,06 & , \text{robežās } [0,4;0,07] \text{ līdz } [0,21;0,08]. \end{cases} \quad (2.11)$$

$$dW = [I(t)]^2 R(t) dt.$$

(2.12)

Integrējot vienādojumu, lai aprēķinātu jebkurā laika brīdī izdalīto enerģiju (6), jāievēro funkcijas $I(t)$ un $R(t)$. Lielumu $I(t)$ silšanas procesa laikā var pieņemt par nemainīgu. Lielums $R(t)$ ir funkcionāli atkarīgs gan no temperatūras, gan no laika. Stieples pretestību nosaka ar formulu

$$R = \frac{k_0 \rho L}{\delta} [\Omega]$$

(2-13)

Metālu īpatnējo pretestību atkarībā no temperatūras izsaka ar formulu:

$$\rho = \rho_0 (1 \pm \lambda \vartheta \pm \beta \vartheta^2 \pm \dots)$$

(2.14)

Pie uzdotajam darba temperatūrām $< 300^\circ\text{C}$ aprēķinos var ieverot pirmos divus rindas locekļus:

$$\begin{aligned} dW &= I^2 \frac{k_0 L}{\delta} \rho_0 (1 + \alpha(90 - 67e^{-4,92t}) + \beta(90 - 67e^{-4,92t})^2) dt = \\ &= I^2 \frac{k_0 L}{\delta} \rho_0 (1 + \alpha 90 - \alpha 67e^{-4,92t} + \beta 1800 - \beta 180 \times 67e^{-4,92t} + \beta \times 67^2 e^{-9,84t}) dt. \end{aligned}$$

Lai aprēķinātu Ni-Ti stiepies garuma izmaiņas ātrumu V_L funkcijas $L=f(t)$ noteikšanai (2.7) izmanto grafoanalītisko metodi.

Ni-Ti stiepies sasilšanas pārejas procesu aprēķinos [6] var pieņemt dažus vienkāršojumus. Viendabīgā strāvu vadošā sistēmā strāvas blīvums visos punktos ir vienāds, tādējādi, tas ir ciets ķermenis ar bezgalīgi lielu siltuin vadāmību, kurš visos punktos nesatur temperatūras atšķirības:

$$\frac{d\vartheta}{dx} = \frac{d\vartheta}{dy} = \frac{d\vartheta}{dz} = 0. \quad (2.16)$$

Bez ārējiem siltuma avotiem silšanas vienādojums ir sekojošs:

$$c_0(1 + \beta\vartheta)m \frac{d\vartheta}{dt} = \delta^2 \rho_0(1 + \alpha\vartheta) - \frac{kL}{S}(\vartheta - \vartheta_0). \quad (2.17)$$

Siltumvadāmība strāvu vadošiem materiāliem ir samēra maza. Tāpēc siltumkapacitāti varam pieņemt konstantu un (2.17) iegūst veidu:

$$dt \quad (2.18)$$

Pieņemsim, ka stieplei visa garumā ir vienāds diametrs un jebkura laika momentā vienāds strāvas blīvuma izmaiņas lielums un rakslurs. Tas dod iespēju linearizēt siltumsistemu silšanas gadījumā.

Tādam gadījumam vienādojumu (2.18), kura $S = \text{const}$, var pārveidot sekojošā veidā:

$$\frac{d\vartheta}{dt} + \frac{1}{cm} \left(\frac{kL}{S} - \delta^2 \rho_0 \alpha \right) \vartheta - \frac{kL}{cmS} \left(\frac{\delta^2 \rho_0 S}{kL} + \vartheta_0 \right) = 0. \quad (2.19)$$

Pie nosacījuma

$$\frac{kL}{S} > \delta^2 \rho_0 \alpha$$

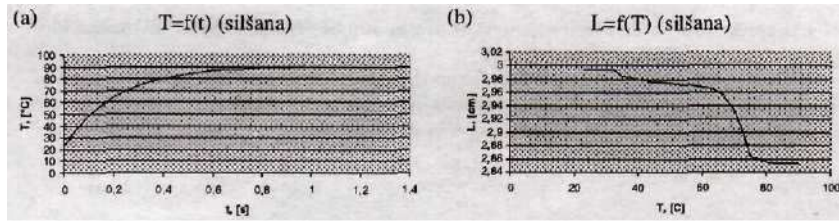
vienādojuma (2.19) atrisinājums ir

$$\vartheta(t) = C e^{-\frac{1}{cm} \left(\frac{kL}{S} - \delta^2 \rho_0 \alpha \right) t} + \vartheta_y. \quad (2.20)$$

Ievērosim, ka konstante $C = \vartheta_n - \vartheta_y$. Tad vienādojuma (2.20) atrisinājums iegūst formu:

$$\begin{aligned} \vartheta(t) &= \vartheta_y \left(1 - e^{-\frac{1}{cm} \left(\frac{kL}{S} - \delta^2 \rho_0 \alpha \right) t} \right) + \vartheta_n e^{-\frac{1}{cm} \left(\frac{kL}{S} - \delta^2 \rho_0 \alpha \right) t} = 90 \times \left(1 - e^{-\frac{1.6}{0.05 \times 6.5} t} \right) + 23 \times e^{-\frac{1.6}{0.05 \times 6.5} t} = \\ &= 90 - 67 \times e^{-4.92t}. \end{aligned}$$

2.4a.att. parādīta temperatūras maiņas procesa līkne pie konstanta strāvas lieluma. No šīs funkcijas grafika ir redzams, ka temperatūras izmaiņai ir eksponenciālais raksturs ar nostabilizēto lielumu ϑ_y . Stieples garuma izmaiņas no laika atkarība $L=f(T)$ pie pastāvīgās slodzes (2.4b.att.) dota ražotājfirmas tehniskajā dokumentācijā [1].

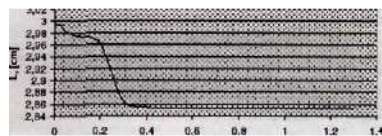


2.4.att. (a) Silšanas grafiks Ni-Ti stieples temperatūras T atkarībai no laika t ;

(b) silšanas grafiks Ni-Ti stieples garuma L izmaiņai atkarībā no temperatūras T

Tālāk, no 2.4b.att. attēlotas atkarības, zinot temperatūru T , laikā Δt_1 , atrodam atbilstošu ΔL_1 , ja zinām T_2 laikā Δt_2 , atrodam ΔL_2 . Summējot dabūsim $L=f(t)$ (2.5a.att.), kur $t=\Delta t_1+\Delta t_2+\Delta t_3+\dots+\Delta t_n$. 2.5b.attēlā attēlota ātruma V funkcija atkarībā no laika t , kuras matemātisko formu ir iespējams atrast 110 vienādojumiem (2.7) un (2.11).

(a) $L=f(t)$ (silšana) (b) $V=f(t)$ (silšana)



2.5.att. (a) Silšanas grafiks Ni-Ti stieples garuma L atkarībai no laika t ;

(b) silšanas grafiks Ni-Ti stieples saspiešanas ātruma V izmaiņai atkarībā no laika t

Viendabīgas strāvu vadošas Ni-Ti stieples dzesešanas pārejas procesu aprēķināšanai strāvas slodzes atslēgšanas gadījumā laika momentā $t=0$ jāpieņem sekojoši sakumnosacījumi:

$$t = 0; \vartheta = \vartheta_0; \delta = 0.$$

Saskaņā ar šo nosacījumu, stieples dzesešanas procesu raksturojošais izejas vienādojums ir sekojošs:

$$\frac{d\vartheta}{dt} + \frac{kL}{cmS} \vartheta - \frac{kL}{cmS} \vartheta_0 = 0. \quad (2.21)$$

Šā vienādojuma risinājums pie

$$\vartheta = \vartheta_0 \text{ ir:}$$

$$\vartheta(t) = Ce^{-\frac{t}{\tau_0}} + \vartheta_0, \quad (2.22)$$

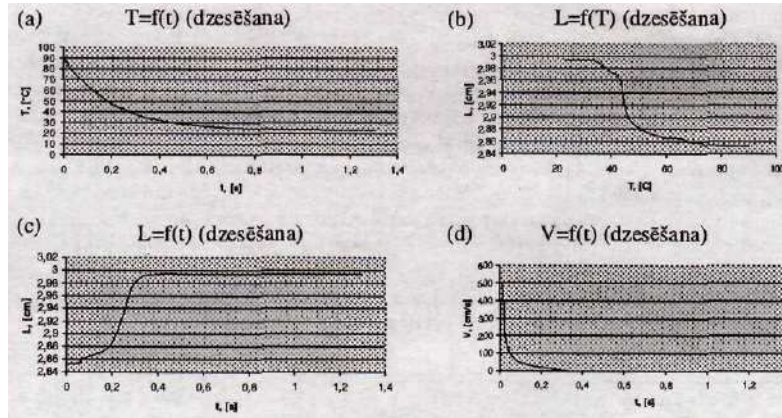
kur

$$\tau_0 = \frac{cmS}{kL}.$$

No sākumnosacījuma $C = \vartheta_n - \vartheta_0$, vienādojuma (2.21) atrisinājumu (2.6.att.) iegūstam sekojošā veidā:

$$\vartheta(t) = (\vartheta_n - \vartheta_0) e^{-\frac{t}{\tau_0}} + \vartheta_0.$$

(2.23)

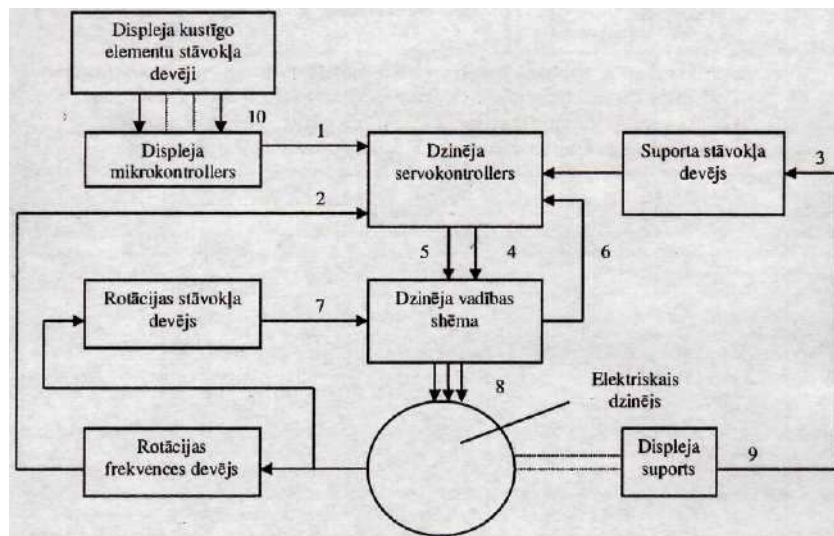


2.6.att. (a) Ni-Ti stieples temperatūras T no laika t atkarības grafiks pie dzesēšanas;
 (b) Ni-Ti stieples garuma L izmaiņas no temperatūras T atkarība pie dzesēšanas;
 (c) Ni-Ti stieples garuma L no laika t atkarības grafiks pie dzesēšanas;
 (d) Ni-Ti stieples ātruma V izmaiņa no laika t atkarība pie dzesēšanas

3. BRAILA DISPLEJA VADĪBAS SISTĒMA

Trešajā nodaļā aprakstīta izstrādātā Braila displeja vadības sistēma. Braila displejs ir kompleksa elektro-mehāniskā iekārta, ko vada ar mikrokontrolleru un ir saistīta ar datoru. Viens no būtiskākajiem elementiem ir attēla mehāniskās izvēršes sistēma, kuru nodrošina suports ar taktiliem signālu devējiem. Šī sistēma ļauj lietotājam noteikt informācijas raksturu: "skanēt" tekstu vai attēlu.

Dzinēja vadības mezgls realizē uz displeja redzamā attēla un teksta horizontālās vai vertikālās mehāniskās izvēršes funkcijas [10]. Konstruktīvi aprakstītais mezgls novietots uz vienas no displeja vadības platēm. Dzinēju vadības mezgls uztver dzinēja rotora pagrieziena leņķa (fāzes) ciparu kodus no displeja mikrokontrollera un nodrošina šo leņķu ļoti precīzu fizikālu realizāciju, nodrošinot displeja kustīgā moduļa pārvietošanos. Pirmajā nodaļā uzskaitītās prasības noteica tiešās piedziņas bezkolektora līdzstrāvas dzinēja (TPBLD) izvēli kā bāzi attēla mehāniskās izvēršes sistēmas izveidei displejā. Statora tinumos spoļu komutācijas vadība tiek realizēta elektroniskā veidā atkarībā no rotora spoļu stāvokļa. To veic ar vadības shēmu (draiveru) atkarībā no rotora stāvokļa devēja (RSD) signāliem. Dzinēja rotācija rada mainīgu magnētisko plūsmu, kuras iedarbības rezultātā Holla devēja izejā iegūst sinusoidālu signālu, kura frekvence ir proporcionāla dzinēja vārpstas rotācijas frekvencei. Holla devēju izejā iegūtos signālus izmanto statora tinumu komutācijai.



3.1.att Dzinēja vadības mezgla paplašinātā strukturshēma

Neredzīgajiem paredzētā displeja dzinēja vadības mezglam (3.1.att) izmantota automātiskās regulēšanas sistēma (ARS) [3], kura izveidota pēc divkanālu (frekvence - fāze) sistēmas principa ar noslēgto atgriezenisko saiti abos kanālos [10]. Atgriezeniskā saite ietver suporta kustības ātruma devēju un suporta stāvokļa devēju. Ieejas vadības iedarbība uz

mezglu notiek ciparu koda veidā no displeja mikrokontrollera [2]. No mezgla izejošais lielums ir atkarīgs no suporra, kas pārvieto kustīgo taktilo moduli, stāvokļa.

Pamatsignāli, kas nosaka dzinēju vadības mezgla (3.1.att.) darbības principu, ir sekojoši:

- 1 - šajā kanālā ievadītais suporta uzdotā stāvokļa ciparu kods N_k ir displeja kustīgā moduļa stāvokļa koordinātes X (vai Y citam kanālam) binārais kods;
- 2 - dzinēja rotora rotācijas frekvences devēja signāls MOTOR FG ir sinusoidāls signāls, kura frekvence ir 40...60 reizes lielāka attiecībā pret dzinēja rotācijas frekvenci;
- 3 - suporta stāvokļa absolūtā devēja signāls N_i ir binārais kods, kas pārvadainformāciju par displeja kustīgā moduļa stāvokļa koordinātes X (vai Y citam kanālam) faktisko vērtību;
- 4 - servokontrollera izejošais signāls N_d ir dzinēja vadības signāls MOTOR CTL;
- 5 - dzinēja reversa signāls MOTOR REV;
- 6 - statora tinuma strāvas pārslodzes signāls CURRENT LIMIT;
- 7 - rotora stāvokļa devēja signāls PG komutējošo signālu veidošanai;
- 8 - draivera izejas signāls, kas nodrošina barošanu TPBLD statora tinumā un nosaka dzinēja rotora rotācijas frekvenci;
- 9 - suporta stāvokļa relatīvā devēja signāls PK;
- 10 - displeja kustīgo elementu stāvokļa devēju, kas nodrošina displeja drošību, signāli.

Suporta ar taktila moduļa stāvokļa attēla uzdotās precizitātes (0,3%) nodrošināšanai izmantota automātiskās regulēšanas sistēma (ARS), kas darbojas pēc divkanāla (frekvence-faze) sistēmas principa ar noslēgto atgriezenisko saiti abos kanālos un nelineāro posmu, kas paredzēts dinamisko raksturojumu optimizācijai. Nelineārais posms ir ietverts dzinēja vadības signāla koda N_d skaitļotāja darba algoritmā. Šā posma uzdevums ir dzinēja rotācijas frekvences optimizācija pie ļoti liela un ļoti maza disbalansa, kad suports atrodas vai nu pārāk tālu, vai arī jau tuvojas uzdotajam stāvoklim. Šis skaitļotājs kopā ar koda N_e skaitļotāju veido tā saucamo diskriminācijas raksturlielni. Ātruma koda N_c skaitļotājs realizē algoritmu:

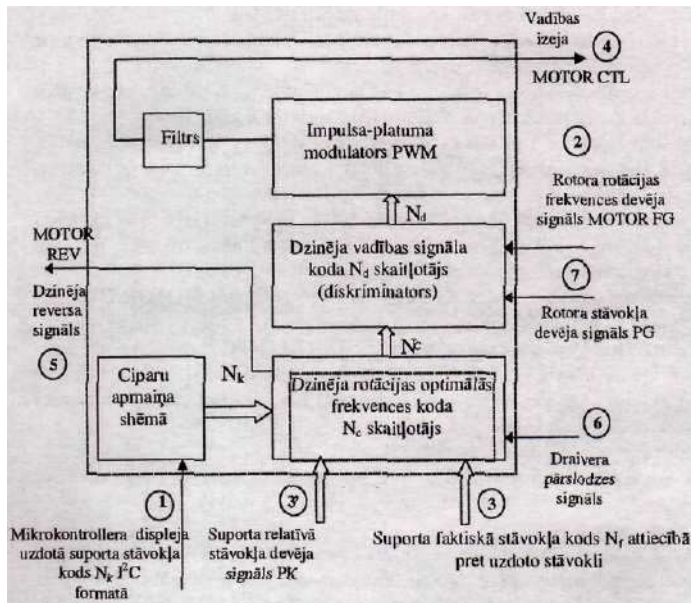
$$N_c = (X_F - X_k) \times K_D \times K_N.$$

(3.1)

Dzinēja vadības signāla koda N_d skaitļotājs izpilda divkanāla diskriminatora lomu, kura vienā kanālā ar lielumu N_c uzdoto signālu salīdzina ar dzinēja rotora rotācijas frekvences devēja signāla MOTOR FG faktiskās frekvences vērtību (aptuvenā vērtējuma kanāls), bet citā kanālā šo pasu paraugsignālu salīdzina ar rotora stāvokļa devēja signāla PG faktiskās frekvences vērtību (precīzais kanāls).

Signāli no diskriminatora kanālu izejām tiek sasummēti noteiktā veidā (precīzā kanāla signālam ir lielāks īpatsvars) un koda N_j veidā nonāk impulsa-platuma modulatorā, kurš neietver servokontrollera mikroshēmas analogos elementus. Izejošo impulsu secību nolīdzina zemo frekvenču filtrs un analoga sprieguma MOTOR CTL formā tā nonāk dzinēja vadības draiverī, uzdodot dzinēja rotācijas frekvenci.

Funkcionālā shēma ar dzinēja servokontrolleri dota 3.2.att.

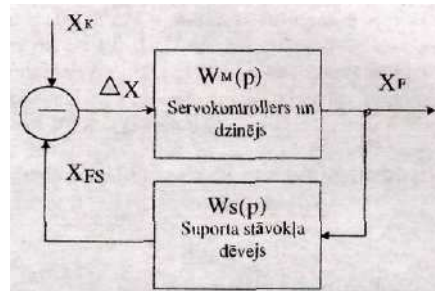


3.2.att. Automātiskās regulēšanās sistēmas funkcionālā shēma

Lai vienkāršotu dinamiskās taksturliknes analīzi, pieņemts, ka:

- servokontrolleri automātiskās regulēšanas sistēmā uzskata par lineāru posmu;
- neievēro diskriminatora aptuvenā vērtējuma kanāla ietekmi, kas domāta sistēmas stabilitātes nodrošināšanai tajos gadījumos, kad notiek suporta ārējā bremsēšana vai datu neesamība starp suportu un dzinēju.

Ņemot vērā, ka servokontrollera ātrdarbība ir ļoti liela un neietekmē pārējos procesus, to var uzskatīt par lineāru posmu. Atbilstoši servokontrollera-draivera-dzinēja mezgla darbības principam, kuru var uzskatīt par noslēgtu astatisku regulēšanas sistēmu, notiek disbalansa integrēšana (starpības starp uzdoto suportu stāvokli un faktisko, ar devējiem izmērīto suportu stāvokli). Ņemot vērā iepriekšējos apsvērumus, sistēma būtiski vienkāršojas un satur tikai divus dinamiskos posmus (3.3.att.).



3.3.att. Dinamisko raksturliķņu analīzes struktūrshēma

Dotajai shēmai, ja servokontrollera un dzinēja pastiprināšanas koeficients ir K_1 , ir spēkā sekojošas izteiksmes:

$$W_M(p) = \frac{K_1}{P}, \quad (3-2)$$

$$\Delta X = X_k - X_{FS}, \quad (3.3)$$

$$W_M(p) = \frac{X_F}{\Delta X}, \quad (3-4)$$

$$W_S(p) = \frac{X_F}{1}$$

$$W_Z(p) = \frac{1}{T_1 p + 1}, \quad (3.6)$$

$$T_1 = (K_1)^{-1}. \quad (3.7)$$

Ja suporta stāvokļa devējs ir bezinerces posms ar $W_S(p) = 1$, tad noslēgtās sistēmas pārvades ftncija ir $W_e(p) = W_M(p)$, bet noslēgtās sistēmas pārvades funkcija [5]:

Noslēgtas sistēmas normēto pārejas raksturliķni raksturo izteiksme:

$$H(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T_1}}, \quad (3.8)$$

Reālie suporta stāvokļa devēji atkarībā no tehniskā izpildījuma ir vai nu posmi ar kavējumu vai aperiodiski posmi, kurus attiecīgi raksturo atbilstošas pārvades funkcijas:

$$W_{s1}(p) = e^{-pT_{s1}}, \quad (3.9)$$

$$W_{s2}(p) = \frac{1}{T_{s2}p + 1}. \quad (3.10)$$

Ja suporta stāvokļa devējs ir impulsu skaitītājs vai mehāniska lieluma pārveidotājs kodā, tad tas ir posms ar kavējumu T_{s1} . Šajā gadījumā T_{s1} fizikāli ir impulsu skaitīšanas cikla ilgums (skaitītāja variants) vai mehāniskā devēja aptaujas periods (variants ar tiešo mehāniskā lieluma pārveidotāju). Ja suporta stāvokļa devējs pārveido mehānisko lielumu (stāvokli) spriegumā, tad tas ir inerces posms ar laika konstanti T_{s2} , kuru nosaka gludinātājfīlra parametri devējā.

Nemot vērā (3.10), iegūstam pārvades funkcijas nenoslēgtai $W_e(p)$ un noslēgtai $W_z(p)$ sistēmai:

$$W_e(p) = \frac{K_1}{p(T_{s2}p + 1)} \quad (3.11)$$

$$W_z(p) = \frac{K_1(T_{s2}p + 1)}{p(T_{s2}p + 1) + K_1}. \quad (3.12)$$

Izmantojot iegūtas izteiksmes (3.11) un (3.12), var noteikt suporta stāvokļa devēja inerces ietekmi uz sistēmu. Devēja ietekmi visērtāk novērtēt pēc pārejas procesa noteikta līmeņa konstatēšanas laika izmaiņas. Pārejas procesa raksturu sistēmā kopumā apraksta sekojošie vienādojumi:

$$p^2 + \frac{1}{T_{s2}}p + \frac{K_1}{T_{s2}} = 0 \quad (3.13)$$

$$p_{1,2} = -\frac{1}{2T_{s2}}(1 \pm (1 - 4T_{s2}K_1)^{0,5}). \quad (3.14)$$

Procesa eksponenriālā un svārstību procesa robežgadījums ir nosacījums

$$T_{s2} = \frac{1}{4K_1}. \quad (3.15)$$

Nosacījums

$$T_{s2} < \frac{1}{4K_1}, \quad (3.16)$$

samazina procesa noteikšanas laiku. Nosacījums

$$T_{s2} > \frac{1}{4K_1} \quad (3.17)$$

rada procesa pārregulēšanos un noteikšanas laiks var palielināties, salīdzinot ar gadījumu, ja $T_{s2}=0$. Ja izpildās nosacījums, ka

$$T_{s2} = \frac{1}{4K_1},$$

tad noslēgtas sistēmas pārvades funkcija iegūst sekojošu formu:

$$W_z(p) = \frac{K_1(T_{s2}p + 1)}{T_{s2}(p + \frac{1}{2T_{s2}})^2} \quad (3.18)$$

Noslēgtas sistēmas pārejas raksturliķni apraksta izteiksme:

$$H(t) = (1 - (1 + \frac{t}{4T_{s2}})e^{-\frac{t}{2T_{s2}}}) \quad (3.19)$$

Ja izpildās nosacījums, ka

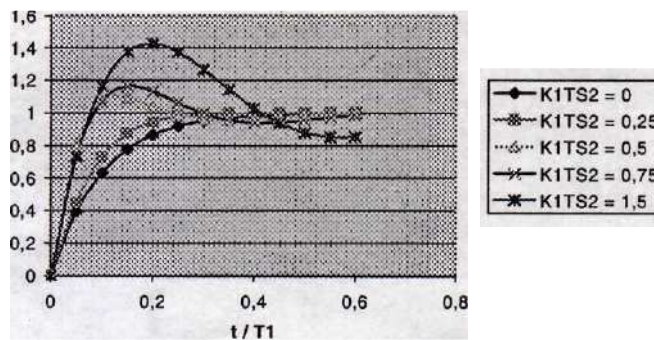
$$T_{s2} > \frac{1}{4K_1},$$

tad noslēgtas sistēmas pārejas raksturliķne tiek aprakstīta sekojoši:

$$H(t) = 1 - e^{(-K_1 t)} + \frac{1}{b_1} ((a_0 - a_1)^2 + b_1^2)^{0,5} e^{(-a_0 t)} \sin(b_1 t), \quad (3.20)$$

$$a_1^2 + b_1^2 = \frac{K_1}{T_{s2}}, \quad a_0 = \frac{1}{T_{s2}}, \quad a_1 = \frac{1}{2T_{s2}}.$$

H(t) aprēķina rezultāti doti 3.4.att.



3.4.att. Pārejas raksturliķņu H(t) raksturs atkarībā no T/Ti pie dažādam K₁ un T_s

Gadījumā, ja stāvokļa devēju W_{s1}(p) apraksta (3.9), tad pārvades funkcija vaļējai un noslēgtai sistēmai ir sekojoša:

$$W_E(p) = \frac{K_1}{p} e^{(-pT_{s1})} \quad (3.21)$$

$$W_z(p) = \frac{K_1}{pe^{(-pT_{s1})} + K_1}$$

(3.22)

Lielumu $e^{-pT_{s1}}$ izvirzot rindā, iegūstam:

$$e^{-pT_{s1}} = 1 - pT_{s1} + \frac{p^2 T_{s1}^2}{2!} - \frac{p^3 T_{s1}^3}{3!} + \dots$$

(3.23)

Ierobežojot rindas locekļu skaitu ar pirmajiem trīs locekļiem, noslēgtas sistēmas pārvades runciju apraksta vienādojums:

$$W_z(p) = \frac{K_1}{p^2 T_{s1} + p + K_1} = \frac{K_1}{T_{s1}} \frac{1}{p^2 + \frac{p}{T_{s1}} + \frac{K_1}{T_{s1}}}$$

(3.24)

Salīdzinot izteiksmes (3.12) un (3.24), var secināt, ka posmiem ar kavējumu un inerci ir analogisks raksturs. Suporta stāvokļa devējs ar kavējumu T_{s1} un inerces devējs ar kavējumu T_{s2} atstāj vienādu ietekmi uz vadības sistēmas ātrdarbību.

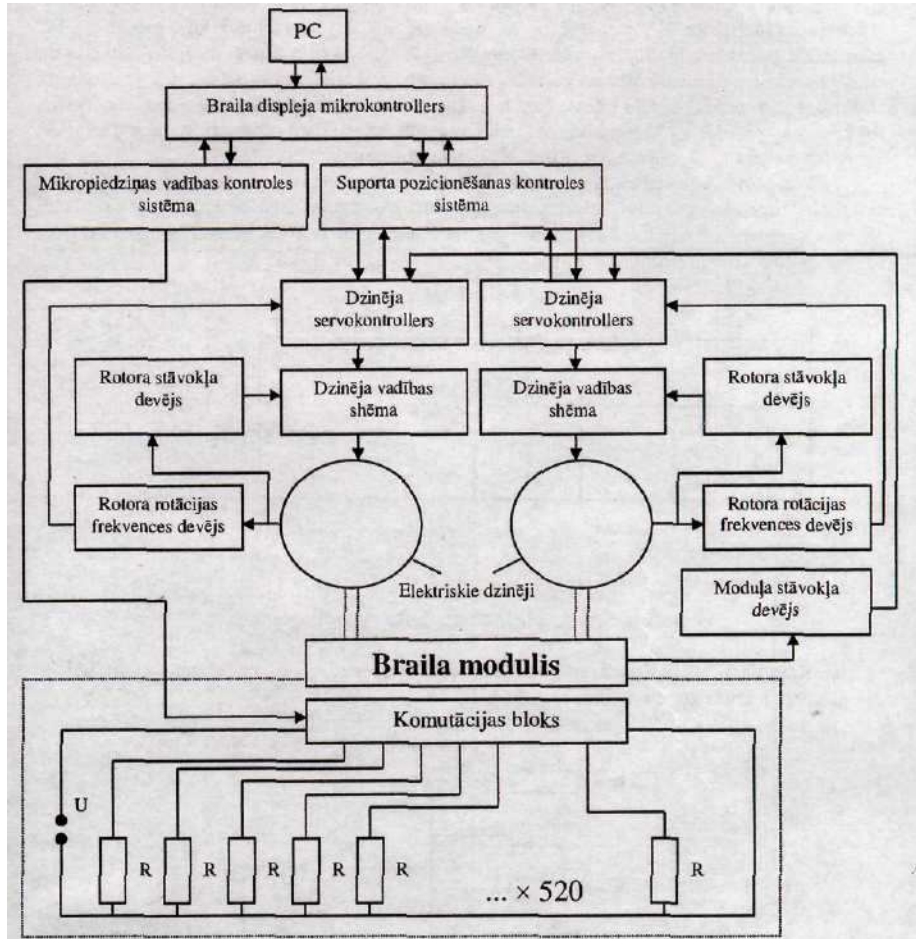
Ņemot vērā, ka sistēmā pielieto diskrētus pārveidojumus, tad lietderīgi izvēlēties stāvokļa devēju ar impulsu pārveidotāju.

Vispārīgie slēdzieni ir sekojoši:

- pārejas procesu raksturu dzinēju vadības mezglā nosaka attiecība starp kavējuma lielumu suporta stāvokļa devējā un dzinēja laika konstanti;
- prasības servokontrollerā iekļauto skaitļotāju jaudai noteiktas pamatojoties uz kavējuma lielumu suporta stāvokļa devējā, jo skaitļošanas cikla ilgumam jābūt 7...10 reizes mazākam nekā kavējuma lielumam T_{s1}

4. TAKTILOGRAFISKĀ MODUĻA EKSPERIMENTĀLAIS PARAUGS UN TĀ DARBĪBAS LOĢISKIE ALGORITMI

Ceturtajā nodaļā dota taktilografiskā Braila displeja konstrukcija. Viens no šā darba praktiskās realizācijas elementiem ir displeja eksperimentālā parauga elektriskā shēma, kā arī shēmas galveno mezglu tehniskā izveide.



4.1.att. Vispārināta Braila displeja elektriska shēma

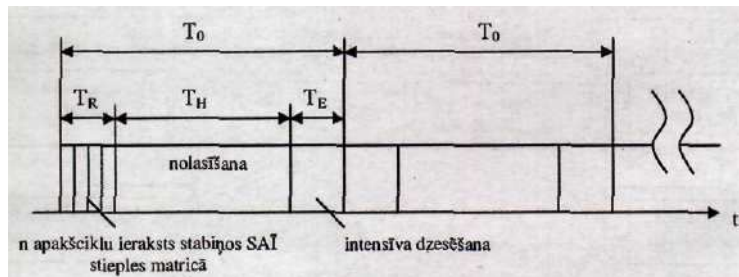
Vispārinātajā Braila displeja elektriskajā shēmā (4.1.att.) dots kustīgais modulis ar izmēriem 40mm x 30mm, ietverošs $26 \times 20 = 520$ SAĪ-mikropiedziņas R, kuras pieslēgtas spriegumam U ar komutācijas bloku, ko vada ciparu kontroles un vadības sistēma. Katrai no

mikropiedziņām ir slēdži, ko īsteno sērijas mikroshēma (analogi slēdžu komplekts), kas tiek vadīta ar ciparu signālu. Piedāvātais kustīgais Braila modulis [7] transformē elektrisku spriegumu taktiografiskajā informācijā.

Mikropiedziņas vadības mezgla [2] uzdevums ir attēla informācijas kodu pārveidošana, ko saņem no PC caur COM portu Braila displeja mikrokontrolerā, un komutācijas bloka raikropiedziņas slēdžu vadība paralēlā koda veidā.

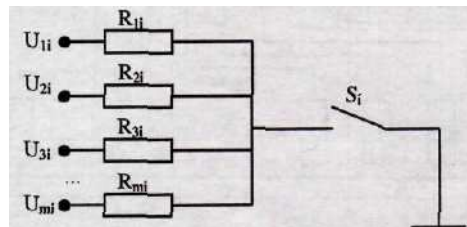
Suporta vadības mezgla [3] uzdevums ir veikt shēmas ciparu apmaiņas (uzdotā suporta stāvokļa kodu N_{kv} un N_{kh} pieņemšana pa attēla vertikāli un horizontāli, kuri pienāk no PC caur COM portu Braila displeja mikrokontrolerā un tālāk aprakstāmajā mezglā) funkciju un dzinēja rotācijas optimālā ātruma koda N_c skaitļotāja funkciju. Dotā sistēma tiek realizēta uz mikrokontrolerā PIC 16F84 bāzes, kurš bez dzinēju vadības koda N_c skaitļošanas, nodrošina arī koda pārveidošanu I²C formātā, kas tiek izmantots ciparu datu pārraidei dubultā divkanāla servokontrolera mikroshēmā XRU/BU 2891 (Sony ražojums).

Viens no vissvarīgākajiem tehniskajiem uzdevumiem ir strāvu komutācija SAĪ mikropiedziņas, kas pārveido informāciju no elektriskās formas mehāniskajā (reljefs). Slēdži S_1 - S_m nodrošina SAĪ stieples silšanas strāvas komutāciju matricā $m \times n$. Izstrādāts cikliskais algoritms SAĪ stieplu vadībai (4.2.att.).



4.2.att. SAĪ stieples vadības laika ciklu diagramma

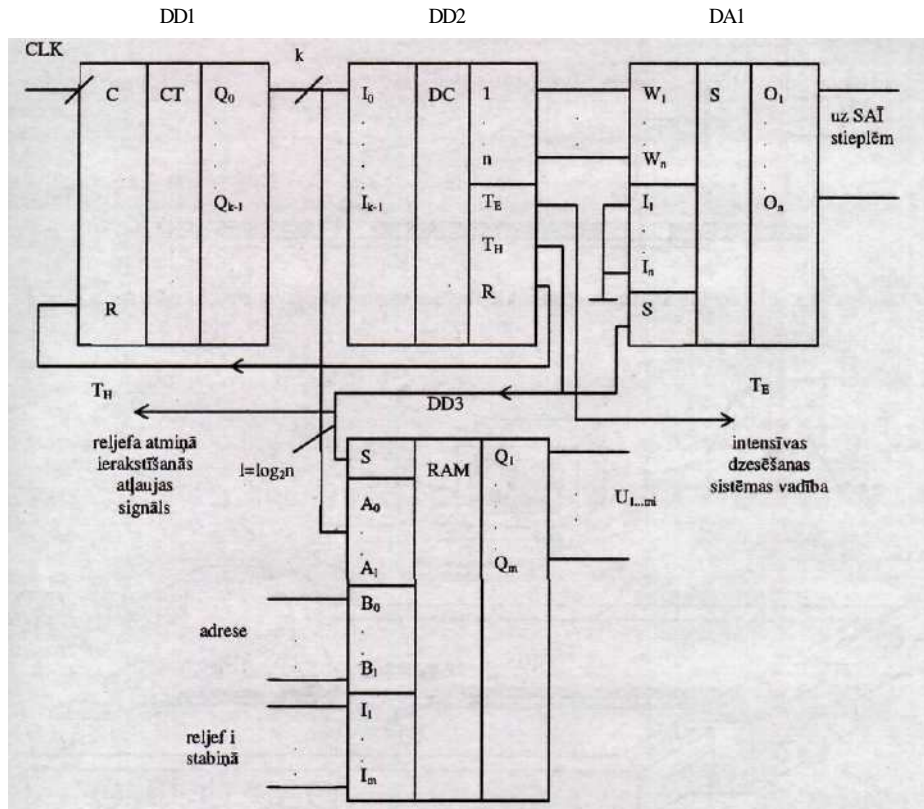
Katrai SAĪ stieplu rindai ir individuāls barošanas (strāvas) avots [9], un katram SAĪ stieples stabīnam ir kopējs slēdzis (4.3.att.).



4.3.att. Elektriskā shēma S ĀĪ stieplu komutācijas bloka vienam stabīnam ar elementu skaitu m

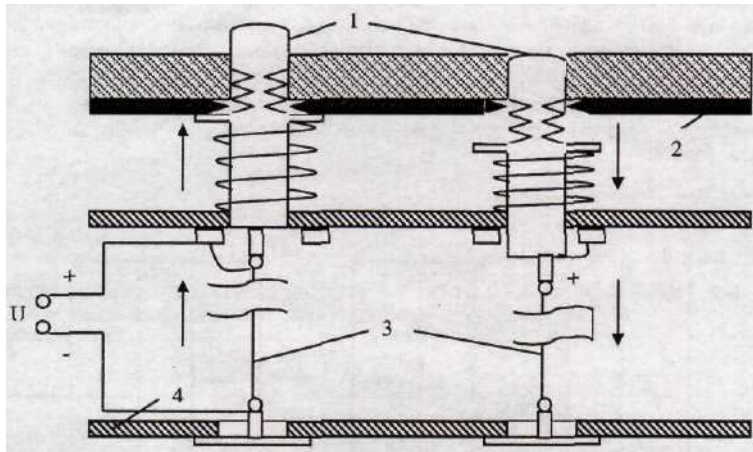
4.3.attēlā $i = 1 \dots n$, kur $R_{1i} \dots R_{mi}$ - SAĪ stieples (ņemot vērā papildpretestības) stabīnā i . Pavisam ir n stabīni. Komutācijas bloka vispārējā elektriskā shēma dota 4.4.att. Komutācijas

bloka darbības galvenā ideja ir tā, ka apakšcikla T_R i stabiņa elementā katras SAĪ stieples viens gals pieslēgts kopējam vadam ar slēdzi S_i no komplekta DA1, bet uz otru vadītājā galu tiek padots informācijas signāls no DD3 izejām ("1"- silšana būs, "0"- silšanas nebūs). Informācijas signāla spriegums izejā DD3 ir šai SAĪ stieplei komutējošais. Tādā veidā notiek SAĪ stieples impulsa silšana vairākiem stabiņiem. SAĪ stieples elektriskais slēgums notiek sekojošā veidā. SAĪ stieplēm galos ir kontaktpunkti. Viens no tiem savienots elektriski ar stabiņa vadiem apakšējā platē. Visi šie vadi savienoti ar slēdžu DA1 ieejām. Augšējie stieplu gali savienoti paralēli.

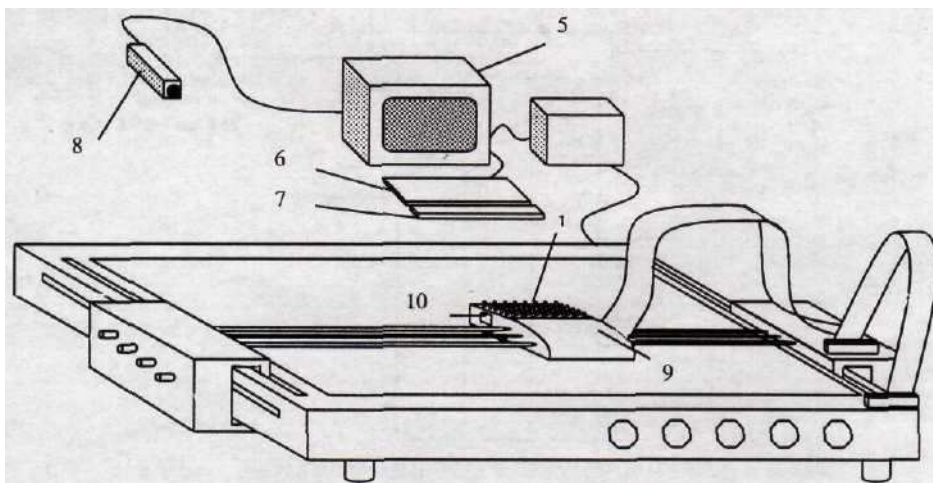


4.4.att. Komutācijas bloka vispārējā elektriskā shēma

Taktilografiskā displeja kustīgā moduļa mikropiedziņas konstrukcija [12] shematiski dota 4.5.att. Mikropiedziņa sastāv no SAĪ stieples 3, kuras viens gals savienots ar apakšējo plati 4. Otrs SAĪ stieples gals mehāniski iespīlēts taktilografiskā attēla stieples apakšējā galā 1.



4.5.att. Taktilgrafiskā moduļa raikropiedziņas konstrukcijas shematisks attēls



4.6.att. Braila displeja neredzīgajiem ar kustīgo moduli shematisks attēls

Ja strava ir 70mA, elektrisko jaudu W_e stieple var aprēķināt pēc formulas:

$$W_e = I^2 R_1 = 0,07^2 \times 14,16 = 0,07W.$$

(4.1)

Ņemot vērā, ka modulis sastāv no $n = 520$ attēla elementiem, un katram no tiem ir nepieciešama attiecīga mikropiedziņa, tad visa moduļa kopējā jauda W :

$$W = \sum_{s=1}^{s=n} I^2 R_1 = \sum_{s=1}^{s=520} (0,07)^2 14,16 = 36W.$$

(4.2)

Braila displeja darbība (4.6.att.) [7, 12] tiek nodrošināta ar personālo datoru 5, kas apgādāts ar tastatūru 6, un, kas ir īpaši svarīgi neredzīgajiem, ar Braila šrifta rindu 7. Braila displeja darbības analīzei izmanto videokameru 8. Videokamera attiecībā pret moduļa virsmu atrodas zem tāda leņķa, lai visi taustiņi un to stāvokļi būtu labi izšķirami. Šī informācija tiek noraidīta datoram, kas ar speciālo algoritmu palīdzību var ātri novērtēt Braila displeja stāvokli. Kustīgais modulis 9 var pārvietoties pa displeja virsmu cilvēka roku vadīts vai dzinēja vadības režīmā. Taktilā informācija ir nolasāma ar cilvēka rokas pirkstu palīdzību. Kustības laikā stieplu stāvoklis izmainīsies atbilstoši moduļa stāvoklim uz virsmas. Ar bloķējošās plāksnes 2 palīdzību, kura tiek pārvietota manuāli ar sviru 10, ir iespējams vienlaicīgi bloķēt visus taustiņus aktivizētā stāvoklī un atslēgt spriegumu. Tādā veidā iespējams fiksēt un izmantot attēlu ilgāku laiku bez enerģijas patēriņa.

Vajadzīgais displeju skaits Latvijā varētu būt apmēram no 7 tūkstošiem līdz 35 tūkstošiem. Pēc displeja ražošanas mēneša darba un cenas piecu gadu laikā varam aprēķināt Braila displeja ražošanas pašizmaksu ar skaitu 117, 350 un 584 mēnesī. Viena displeja ražošanas cena svārstās no 312,13 Ls (117 displeji mēnesī) līdz 309,13 Ls (584 displeji mēnesī). Ņemot vērā taktilografiskā displeja neredzīgajiem noieta tirgu, displeju ražošanu jāorientē uz eksportu, kas var dot ekonomisku izdevīgumu, jo displeja pašizmaksa ir relatīvi zema un konkurences nav.

Par jaunu zinātnisko rezultātu šajā nodaļā var uzskatīt kontrolējošās digitalās kameras attēla apstrādes pārbaudes algoritmu Braila displeja elementu drošuma kontrolei. Drošuma koncepcijas pamatā ir atteices varbūtības Q jēdziens noteiktā laika periodā. Kā likums, par laika periodu tiek pieņemts 1 gads. Tad iegūstam

$$Q = 1 - e^{-\lambda t}.$$

(4.3)

Aprēķini pēc šīs metodes tiek veikti pie nosacījuma, ka laika intervāli starp atteicēm pakļaujas eksponenciālā sadalījuma likumam. Tāda veidā tiek noteikti sekojošie drošuma rādītāji:

atteicu intensitāte vienā displeja elementā

$$\lambda = \frac{1}{5 \times 365 \times 24 \times 520} = 4,3 \times 10^{-7}, \quad [1/h],$$

(4.4)

vidējais nostrades laiks līdz atteicei vienam displeja elementam

$$T_{el} = \frac{1}{\lambda} = 2,2 \times 10^7, \quad [h],$$

(4.5)

vidējais nostrades laiks līdz atteicei visam modulim

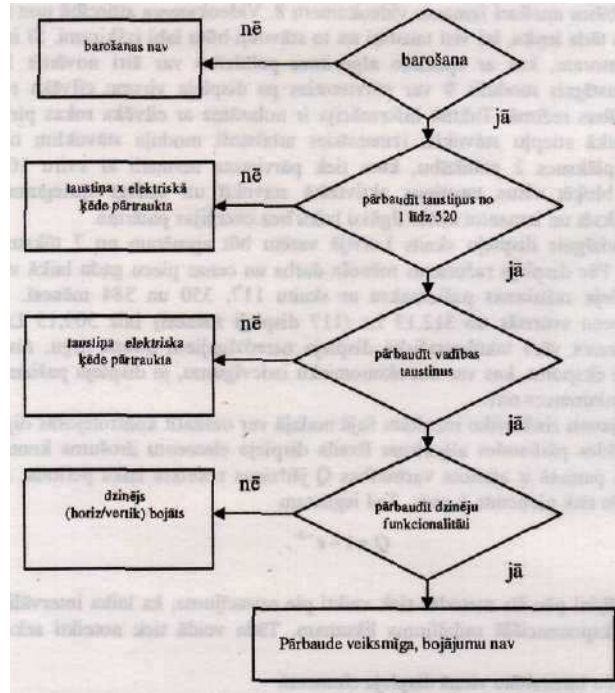
$$T_m = \frac{1}{\lambda \times 520} = 4,4 \times 10^4, \quad [h]$$

(4.6)

Iekārtas bezatzeiņu darba varbūtība divdesmit gadu garumā

$$P(t) = e^{-\lambda t} = 0,976. \quad (4.7)$$

Drošuma novērtēšanas kritēriji pamatojas uz matemātisko statistiku. Tā kā statistiskie dati šajā jautājumā skar arī konstrukciju, tad atteicu intensitāti nosaka ražotājfirmas eksperimenti ar Ni-Ti stieplēm. Eksperiments rāda, ka stieple ir ļoti noturīga un var izturēt simtstūkstots ciklu un pēc tam savu sākotnējo garumu izmainīt tikai par 0,5% [1]. Pieņemsim, ka vienā darba gadā atteici izsauks tikai viens no 520 taustiņiem. Braila displeja darbības pārbaudei var izmantot algoritmu ar videokameras pielietojumu (4.7.att). Videokameras attēls tiek analizēts datorā.



4.7. att. Braila displeja pārbaudes algoritms pirms darba sākuma

Dators modelē Braila displejam dažādus realizējamus attēlus. To lietderīgi izdarīt pie dažādiem moduļa kustības ātrumiem. Bez tam tiek modulēta dažādu vadības ķēžu gatavība. Gadījumā, ja atrasti bojājumi, pārbaudes programma informē par tiem un par to svarīgumu.

Būtiski darbu var atvieglot skaņu informācija, kura atkarībā no situācijas tiek ierosināta audio atskaņotājos ar datora palīdzību. Piemēram, tāda veidā var tikt pārraidīta informācija par bojājumiem. Tipiskās frāzes un teikumi tiek paņemti no agrāk sagatavotas datu bāzes, atbilstoši konkrētam gadījumam.

Ceturtajā nodaļā tiek izstrādāti arī reljefa attēla uzbūves loģiskie algoritmi, kuru nolūks ir izveidot virsmas attēlu neredzīgajiem pie attiecīgā moduļa stāvokļa atbilstoši vadības komandām.

Šajā nodaļā analizēta displeja utilizācijas iespēja - vides aizsardzības kontekstā.

Taktilografiskais displejs neredzīgajiem ir spējīgs darboties trijos režīmos:

- lietotājs pats pārvieto moduli pa displeja virsmu;
- taktilografiska attēla modulis pārvietojas pēc datora komandām ar dzinēja palīdzību;
- izmantojot tastatūru un speciālu programmu neredzīgais var izveidot datorā grafisku attēlu un tūlīt to nolasīt ar Braila displeja palīdzību.

KOPEJIE SECINĀJUMI

Promocijas darbs kvalitatīvi atrisina taktilgrafiskā Braila displeja konstrukciju jaunā tehniskā līmenī:

1. Izstrādātas taktilgrafiskā Braila displeja tehniskās prasības, ņemot vērā lietotāja psihofizioloģiskās īpašības.
2. Ierosināta un ar patentu aizstāvēta reljefa attēla taktilgrafiskā Braila displeja konstrukcija, kas satur SAĪ stieplu matricu. Pamatota Ni-Ti stieples izvēle, kuras garums 30mm un diametrs 50μm. Tā var izturēt slodzi līdz 250mN. Sasniegtā stieplu stāvokļa maiņas ātrdarbība <1s ļauj ātri mainīt mikropiedziņas režīmu. Atmiņas efekta rezultātā stieples garuma izmaiņa stabili sasniedz 1 mm. Iekārtas un tās montāžas vienkāršība, konstrukcijas beztrokšņa darbība un relatīvi mazās izmaksas ir svarīgākās tās priekšrocības.
3. Veikta teorētiskā un eksperimentālā SAĪ stieples izplešanas-saspiešanas procesa analīze. Eksperimentāli noteikta sakarība $L=f(t)$, no kura ar Lagranža polinoma palīdzību aprēķināta stieples garuma izmaiņas laikā funkcija $V=f(t)$.
4. Veikta SAĪ stieples ciklisko siltuma procesu analīze displeja struktūrā. Noteikts izdalītais siltuma daudzums SAĪ stieplei, izmantojot līdzstrāvas avotu. Iegūta Džoula enerģijas funkcija no laika $W=f(t)$, kurā var izdalīt proporcionālo un eksponenciālo posmu. Iegūta dzesēšanas procesa temperatūras maiņas atkarība no laika $T=f(t)$, kurai ir eksponenciālais raksturs.
5. Izstrādāta taktilgrafiskā Braila displeja kustīgā moduļa un tā vadības mezglas struktūra, kas satur suporta stāvokļa ciparu devēju, saistot to ar tiešās piedziņas bezkolektora līdzstrāvas dzinēju (TPBLD) izvēli kā pamatrisinājumu mehāniskās izvēršanas sistēmas izveidei displejā. Noteikts dzinēja vadības signāla algoritms divkanālu ARS.
6. Veikta displeja dzinēja vadības sistēmas dinamisko īpašību analīze. Displeja vadības sistēmas izstrādāšanā izmantotas matemātiskās modelēšanas metodes. Vadības mezglas dinamisko raksturlīkņu analīzes rezultātā iegūts, ka pārejas procesa raksturu nosaka attiecība starp kavējuma lielumu suporta stāvokļa devējā un dzinēja laika konstanti.
7. Izstrādāta reljefa attēla izveides metode uz displeja ar ciklisku SAĪ stieplu vadību.
8. Konstruēts un izpētīts taktilgrafiskā Braila displeja eksperimentālais paraugs, kas nodrošina ātru un drošu taktilgrafiskās informācijas pārraidi. Konstrukcijas jaunums ir tas, ka Braila attēls attainojas ne uz visas virsmas, bet ar kustīgā moduļa starpniecību, kas samazina displeja izmaksas. Iekārtas drošuma palielināšanai izstrādāta pārbaudes sistēma uz loģiskā algoritma bāzes. Tā iekļauj barošanas sistēmas, taustiņu, vadības pogas, kā arī dzinēja ķēdes pārbaudi. Interaktīvā darba režīmā lietotājs ir spējīgs pats radīt attēlu ar tastatūras palīdzību un tā attēlu kontrolēt Braila displejā.
9. Aprēķināts, ka kustīgais modulis patērē 36W enerģiju. IZanalizētā Braila displeja ražošanas izmaksas ir 309 Ls - 312 Ls.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Dynalloy, Inc. Technical characteristics of Flexinol actuator wires, 2002, pp. M2.
2. Greivulis J., Raņķis J.: Jekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgli, Rīga, Avots, 1997, Ipp. 288.
3. Osis J.: Automātiskā vadība un regulēšana, Rīga. Zvaigzne, 1969, Ipp. 268.
4. Seelecke S., "Adaptive Strukturen mit SMA-Aktoren - Modellierung und Simulation", Habilitationsschrift, Berlin, 1999 s. 6-15.
5. Бесекецкий В.А. Теория регулирования автоматич. систем. -М.: Знание, 1975, с. 520.
6. Залесский А.М., Кукеков Г.А: Тепловые расчёты электрических аппаратов, издательство Энергия, Ленинградское отделение, 1967, с. 10-11.

AUTORA PUBLIKĀCIJAS

7. Graf R. Experimental Research: Shape Memory Alloys - Actuator for Using in Movable Graphical Device for Visually Impaired People, Mikroelektronik 2003, october 1-2, 2003, Vienna, Austria.
8. Ouchkalov R., Brenner W., Mitic S., Popovic G., Vujanic A. Micro Actuation Principles for Tactile Graphic Displays (state of the art and recent efforts). Proc of the MME'99, september 27-28, 1999, Gif sur Yvette, France, pp. 247-250.
9. Ouchkalov R., Brenner W., Mitic S., Popovic G., Vujanic A., Medek R. Development of microactuators for tactile graphic displays (state of the art and recent efforts). Proc of the 22nd International Conference on Microelectronics (MIEL 2000), Vol 2, may 14-17, 2000, Niš, Serbia, pp. 573-576.
10. Uškalovs R., Greivulis J. Braila displeja dzinēja vadības sistēmas dinamisko raksturlielumu analīze, "Enerģētika un elektrotehnika" RTU zinātniskie raksti, sērija 4, sējums 7, Rīga 2002, izdevniecība RTU, Ipp. 105-110.
11. Uškalovs R., Greivulis J. Šķidrumu ar īpašajām elektriskajām struktūrām pielietojums Braila displeja izveidē, "Enerģētika un elektrotehnika" RTU zinātniskie raksti, sērija 4, sējums 5, Rīga 2002, izdevniecība RTU, Ipp. 110-113.

IZGUDROJUMA PATENTS

12. Graf R., Austrijas patents: A 259/2003, "Kompaktes Beivegliches Taktiles Modul Mit Formgedächtnislegierungen-Antrieb", 20.02.2003.