

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE

Transporta un mašīnzinību fakultāte

Mašīnbūves tehnoloģijas institūts

Ivans GRĪNEVIČS

Doktora studiju programmas „Aparātu inženierija” doktorants

**NEKUSTĪGO VĪTŅU SAVIENOJUMU
AUTOMATIZĒTĀS SALIKŠANAS OPTIMIZĀCIJA**

Nozare: Mašīnzinātne

Apakšnozare: Mašīnbūves tehnoloģija

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskais vadītājs

Dr. sc. ing., docente

N.MOZGA

Rīga 2011

UDK 658.527.011.56

Griņevičs I. Nekustīgo vītņu
savienojumu automatizētās salikšanas
optimizācija. Promocijas darba
kopsavilkums.-R.:RTU, 2011.-28 lpp.

Iespiests saskaņā ar MTI institūta
2011.gada 18.oktobra lēmumu, protokols
Nr.6/11

Šis darbs izstrādāts ar Eiropas Sociālā fonda atbalstu projektā „Atbalsts RTU doktoru studiju īstenošanai” .

ISBN 978-9984-49-447-0

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

Promocijas darbs inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai tiek publiski aizstāvēts 2012. gada 17. janvārī, plkst. 15.00 Rīgas Tehniskās universitātes Transporta un mašīnzinību fakultātē, Ezermalas ielā 6, 405.auditorijā.

OFICIĀLIE RECENZENTI

Profesors, Dr.sc.ing. Oskars Liniņš
Rīgas Tehniskā universitāte

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Genādijs Moskvins
Latvijas Lauksaimniecības universitāte

Profesors, Dr.habil.sc.ing. Bronius Bakšys
Kaunas Tehnoloģiju universitāte, Lietuva

APSTIPRINĀJUMS

Apstiprinu, ka esmu izstrādājis doto promocijas darbu, kas iesniegts izskatīšanai Rīgas Tehniskajā universitātē inženierzinātņu doktora grāda iegūšanai. Promocijas darbs nav iesniegts nevienā citā universitātē zinātniskā grāda iegūšanai.

Ivans Griņevičs(Paraksts)

Datums:

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 7 nodaļas, secinājumus, literatūras sarakstu, 37 ilustrācijas, 20 tabulas, kopā 72 lappuses. Literatūras sarakstā ir 31 nosaukums.

SATURS

PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS	5
Tēmas aktualitāte	5
Darba mērķis un uzdevumi.....	5
Pētījumu metodika	5
Zinātniskā novitāte un galvenie pētījumu rezultāti.....	5
Praktiskais pielietojums	6
Autors šajā darbā aizstāv.....	6
Darba aprobācija	6
Darba struktūra un apjoms	7
PROMOCIJAS DARBA SATURS	7
Galvenie termini	7
Darbā izmantoti sekojoši galvenie termini:.....	7
IEVADS	8
1.UZGRIEZŅGRIEŽA-SKRŪVGRIEŽA ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA PĒTĪJUMU APSKATS	8
1.1. Uzgriežņgrieža-skrūvgrieža galveno parametru apskats	8
1.2. Uzgriežņgrieža-skrūvgrieža jaudas noteikšanas metode	10
1.3. Elektroenerģijas patēriņa noteikšana	12
1.4. Pētījuma galvenie uzdevumi	12
2. SKRŪVGRIEŽA LIETOŠANAS NOSACĪJUMI NEKUSTĪGO VĪTŅU SAVIENOJUMU IEGŪŠANAI	13
2.1. Elektromotora līkņu moments-ātrums izveidošanas metodika	13
2.2. Nodaļas secinājumi.....	13
3.PIEVILKŠANAS MOMENTA APRĒĶINS IZVĒLĒTAJĀM BULTSKRŪVĒM	14
4.SALIKŠANAS LAIKA UN ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA TEORĒTISKAIS APRĒĶINS.....	14
4.1. Salikšanas laika noteikšana	14
4.2. Elektroenerģijas patēriņa aprēķins.....	15
4.3. Nodaļas secinājumi.....	18
5.KONTROLĒJAMIE PARAMETRI UN KONTROLMĒRĪJUMU APARATŪRA	18
6.ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA OPTIMIZĀCIJA	20
6.1. Elektroenerģijas patēriņa praktiska noteikšana	20
6.2. Optimizācijas rezultāts.....	21
6.3. Eksperimentālo un teorētisko datu salīdzinājums	23
6.4. Nodaļas secinājumi.....	24
7.PAPILDUS PASĀKUMI ELEKTROENERĢIJAS SAMAZINĀŠANAI	25
7.1. Strāvas pārtraukšana pēc sprūdmehānisma nostrādāšanas	25
7.2. Nodaļas secinājumi.....	25
SECINĀJUMI	26
LITERATŪRAS SARAKSTS	26

PROMOCIJAS DARBA VISPĀRĒJS RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte

Promocijas darbā „Nekustīgo vītņu savienojumu automatizētās salikšanas optimizācija” ir veikti uzgriežņgrieža elektroenerģijas patēriņa pētījumi atkarībā no atbilstoša nekustīgā vītņu savienojuma salikšanas laika. Līdz šim brīdim nav rekomendāciju no instrumentu ražotājiem par uzgriežņgrieža optimālajiem darba režīmiem (secinājums ir izdarīts balstoties uz ražotāju instrumentam pievienotajām lietošanas instrukcijām), ja to izvērtē ņemot vērā elektroenerģijas patēriņu un salikšanas laiku dažāda veida nekustīgajiem vītņu savienojumiem (koks, metāls, plastmasa, u.c.) un iegūstamos pievilksanas momentus. Apskatītajos literatūras avotos [3,4,5,6,7,8], kuros tiek pētīta un analizēta nekustīgo vītņu savienojumu automatizētās salikšanas procesa optimizācijas iespējas, netiek pievērsta pietiekama uzmanība instrumenta enerģijas patēriņa samazināšanai, kas ir viens no galvenajiem uzdevumiem ražošanas procesā, kurš tiešā veidā ietekmē produkcijas pašizmaksu.

Darba mērķis un uzdevumi

Darba mērķis ir optimizēt enerģijas patēriņu pēc salikšanas laika nekustīgo vītņu savienojumu automatizētajā salikšanā. Dotā mērķa sasniegšanai bija izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- 1) Apskatīt skrūvgrieža lietošanas nosacījumus.
- 2) Aprēķināt pievilksanas momentu izvēlētajām bultskrūvēm.
- 3) Teorētiski noteikt elektroenerģijas patēriņu un salikšanas laiku izvēlētajām bultskrūvēm.
- 4) Sagatavot eksperimentālo iekārtu ar mēraparātu kompleksu, kas ir paredzēta pētījumu veikšanai.
- 5) Praktiski noteikt elektroenerģijas patēriņu un salikšanas laiku izvēlētajām bultskrūvēm.
- 6) Veikt iegūto rezultātu apstrādi un salīdzinošo analīzi.
- 7) Izpētīt papildus ceļus elektroenerģijas samazināšanai.

Pētījumu metodika

Galvenā uzdevuma risināšanai – uzgriežņgrieža elektroenerģijas patēriņa optimizācijai atkarībā no atbilstoša nekustīgā vītņu savienojuma salikšanas laika tika izmantotas sekojošas pētījuma metodes:

- 1) Vītnes savienojuma salikšanas laika noteikšanai tika izmantota datorprogramma ‘Sony Sound Forge Audio Studio 10’.
- 2) Elektronisko tabulu izveidošanai un aprēķinu veikšanai izmantota Microsoft Excel datorprogramma.
- 3) Pievilksanas moments tika noteikts pēc atskrūvēšanas momenta.
- 4) Enerģijas patēriņa noteikšanai tika izmantots USB osciloskops (Picoscope 2205).

Zinātniskā novitāte un galvenie pētījumu rezultāti

Darba zinātniskā novitāte un rezultāti ir:

- 1) Konstatēts, ka uzgriežņgriezīm-skrūvgriezīm ir tādi darba režīmi, pie kuriem ir iespējams veikt enerģijas patēriņa optimizāciju atkarībā no salikšanas laika.
- 2) Noskaidrots, ka teorētiskais aprēķins ir daudz darbietilpīgāks un mazāk precīzs, tāpēc optimizējot elektroenerģijas patēriņu lietderīgāk veikt praktiskos mērījumus.
- 3) Atrasta iespēja papildus enerģijas samazinājumam, veicot nekustīgo vītņu savienojumu salikšanu, atslēdzot strāvu brīdī, kad ir sasniegts uzstādītais pievilkšanas moments.
- 4) Sagatavota eksperimentālā iekārta ar mēraparatūras kompleksu pētījuma veikšanai.
- 5) Kā jauninājumu var minēt to, ka apgriezienu mērīšanai un laika noteikšanai tiek izmantota datora skaņas karte.

Visi augstākminētie rezultāti ir jauns ieguldījums zinātniskajā mašīnbūves tehnoloģijas nozarē.

Praktiskais pielietojums

Pētījumi, kuri veikti dotajā promocijas darbā „Nekustīgo vītņu savienojumu automatizētās salikšanas optimizācija”, ļauj noteikt par cik procentiem ir iespējams samazināt dota uzgriežņgrieža elektroenerģijas patēriņu un papildināt ar elektroenerģijas ekonomijas shēmām ražotāju instrumentu pievienotas lietošanas instrukcijas. Veiktie aprēķini parāda, ka ir iespējams atrast uzgriežņgrieža optimālo darbības režīmu, tā kalpošanas laika paildzināšanai, elektroenerģijas patēriņa samazināšanai un vītņu savienojuma kvalitātes paaugstināšanai.

Autors šajā darbā aizstāv

- 1) Aprēķinu paņēmieni uzgriežņgrieža optimāla darba režīma noteikšanai (optimizācijas kritērijs ir uzgriežņgrieža elektroenerģijas patēriņš).
- 2) Iekārtas patērējamās elektroenerģijas samazinājuma iespējas to efektīvi izmantojot.
- 3) Eksperimentālo iekārtu nekustīgo vītņu savienojumu automatizētās salikšanas procesu pētījumiem.

Darba aprobācija

Par galvenajiem promocijas darba rezultātiem ziņots sekojošās konferencēs un semināros, saņemot atzinīgas novērtējumus:

Latvijā:

- Mozga N., Grinevichs I., Kandis J., Brensons I. Research of Influence of the Form of Details on Accuracy of Assemblage // RTU zinātniskie raksti. 6. sēr., Mašīnzinātne un transports. - 31. sēj., 2009.g., 67.-70. lpp.
- Griņevičs I. Mehānisko elementu salikšanas īpatnības mašīnbūvē. Seminārs „Mašīnzinātnes sasniegumi nanotehnoloģijās”, 29.09.2011. Latvija, Rīga.

Ārvalstīs:

- Natalija Mozga, Ivans Grinevichs. Features of the scheme of basing on rotating rollers at automatic assembly of the thread connections, 12th International Research/Expert Conference, 26.08.2008.-30.08.2008. Istanbul.- Turkey, 349.-352.pp.
- Natalija Mozga, Francis Sudnieks, Ivans Grinevichs. Quality assurance of performance of automatic assembly operations on rotors, 53.IWK Internationales Wissenschaftliches

- Kolloquium, 08.09.2008.-12.09.2008. Vācija, Ilmenau.-Ilmenau, IlmPrint GmbH Digitales Druckzentrum Langewiesen, 331.-332.pp.
- Mozga N., Grinevichs I. METHODS USED FOR THE THREADED JOINT'S FORCE CONTROL // 7th International Conference of DAAAM Baltic "INDUSTRIAL ENGINEERING", 22.-24. April, Tallinn, Estonia, 2010, 96-100.pp.
 - Grinevichs I., Mozga N., Springis G. The providing of ultra precision conditions for details' pressing processes on rotary machines // ECCM 14. 14 th European Conference on Composite Materials, Hungary, Budapest, 7.-10. June, 2010, pp. 5, CD proceedings.
 - N.Mozga, I.Grinevichs, "Research of automatic assembly of details on the rotors with internal contact of pitch circles" // 5th Annual International Conference "Education Research Innovation", ERIN 2011, Slovakia, High Tatras, 13-16 aprīlis, 2011.g.; pp. 8, CD proceedings.
 - N.Mozga, I.Grinevichs, "Assurance of automatic connection of plastic details by machines of non-stop operation" // VI International Materials Symposium MATERIALS 2011, Portugāle, Universidade do Minho, Guimarães, 18.-20. Aprīlis, 2011.g.; pp. 5, CD proceedings.
 - N.Mozga, I.Grinevichs, I.Brensons "Research of Influence of Collected Details form Deviation on the Accuracy of Precision Assembly" // 11th International Conference of the European Society for Precision Engineering & Nanotechnology, 11th euspen, Itālija, Lake Como, 23.-27.maijs, 2011.g.; Conference proceedings, VOL.2, 273-276 pp.
 - Mozga N., Griņevičs I. „Optimization of control of automatic assembly process of parts with cylindrical shape“ // 7th International Conference Mechatronic Systems and Materials, MSM 2011, Kauņa, Lietuva, 7.-9. Jūlijs, 2011.g., pp. 5, CD proceedings.
 - N.Mozga, I.Grinevichs, I.Brensons "Definition of Optimal Oscillation Conditions for Vibrating Assembly on Rotors with an External Contact of Pitch Circles" // 4th Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC 2011, Spānija, Cádiz, 21.-23.septembris, 2011.g., pp. 6, CD proceedings.

Darba struktūra un apjoms

Promocijas darbs ir uzrakstīts latviešu valodā, satur ievadu, 7 nodaļas, secinājumus, izmantoto informācijas avotu sarakstu (31 avots), 37 attēlus, 20 tabulas, kopā 72 lapaspuses.

PROMOCIJAS DARBA SATURS

Galvenie termini

Darbā izmantoti sekojoši galvenie termini:

- 1) ***Aizpildījuma koeficients*** – impulsa platuma un tā sekošanas perioda attiecība.
- 2) ***Elektrodzinējspēks*** - ir darbs, ko lādiņnesēju pārvietošanai pa elektrisko ķēdi pastrādā ārēji spēki. Elektrodzinējspēka lielums ir vienāds ar darbu, kas nepieciešams pozitīva vienības lādiņa pārvietošanai noslēgtā elektriskajā ķēdē.
- 3) ***Ieskriešanas laiks*** – laiks, kurā tiek sasniegti sākuma apgriezieni no miera stāvokļa.
- 4) ***Impulsu platuma modulators (PWM)*** – ierīce, kas paredzēta dažāda platuma impulsu formēšanai.

- 5) **Komparators** – ierīce, kas spēj salīdzināt divus lielumus A un B. Salīdzināšanas rezultātā komparators izstrādā izejas signālus, kuru vērtības atbilst vienai no trim situācijām: A mazāks par B, A vienāds ar B, A lielāks par B.
- 6) **Lauktranzistors** – ir pusvadītāju ierīces - tranzistora veids, kurā izejas elektriskā strāva tiek vadīta ar elektriskā lauka palīdzību, kuru rada ieejas signāla spriegums.
- 7) **Oscilogrāfs** – ierīce sprieguma formas attēlošanai.
- 8) **Pievilkšanas laiks** – laiks, kad uzgrieznis tiek sākts pievilkt, līdz tā pievilkšanai ar nepieciešamo momentu.
- 9) **Potenciometrs** – elektriskais aparāts, kas kalpo regulēšanai un nepieciešamās pretestības vērtības iegūšanai.
- 10) **Reakcijas laiks**- laiks no momenta, kad nostrādā sprūdmehānisms līdz laikam kad tiek atlaista palaišanas poga.
- 11) **Rotorgalviņa** – skrūvgrieža-uzgriežņgrieža rotējošā daļa, kurā var tikt iestiprināts instruments skrūves vai uzgriežņa skrūvēšanai.
- 12) **Sajūga izslīdēšanas (pārslīdēšanas) moments** – moments, pēc kura sasniegšanas nostrādā sprūdmehānisms.
- 13) **Sākuma apgriezieni** – rotorgalviņas konstanti apgriezieni, kuru vērtība iepriekš tiek uzstādīta.
- 14) **Salikšanas laiks (process)** - laiks kad uzgrieznis tika sākts skrūvēts līdz laikam kad tas ir pieskrūvēts ar nepieciešamo momentu.
- 15) **Skrūvēšanas laiks** – laiks, kurā skrūvgriezis darbojas sākuma apgriezienos.

IEVADS

Mūsdienu automatizētajā ražošanā ir aktuāls elektroenerģijas patēriņa samazinājuma jautājums, kas atstāj savu ietekmi uz gala produkta pašizmaksu. Viens no variantiem elektroenerģijas patēriņa samazināšanai ir efektīva skrūvgrieža-uzgriežņgrieža lietošana. Neskatoties uz to šī problēma ir mazs pētīta.

1.nodaļa. UZGRIEŽŅGRIEŽA-SKRŪVGRIEŽA ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA PĒTĪJUMU APSKATS

Šajā nodaļā ir izdarīts literatūras apskats par uzgriežņgrieža-skrūvgrieža elektroenerģijas patēriņa jautājumiem kurā ir iekļauti:

- 1.1. Uzgriežņgrieža-skrūvgrieža galveno parametru apskats.
- 1.2. Uzgriežņgrieža-skrūvgrieža jaudas noteikšanas metode.
- 1.3. Elektroenerģijas patēriņa noteikšana.
- 1.4. Pētījuma mērķis un uzdevumi.

1.1. Uzgriežņgrieža-skrūvgrieža galveno parametru apskats

Elektromotoru raksturo ar šādiem parametriem: patērējamā jauda, elektromehāniskās motora konstantes (ātruma konstante un momenta konstante), strāvas gradients, lietderības koeficients [17, 18].

Elektromotors kā enerģijas pārveidotājs

Elektromotors pārveido elektroenerģiju P_{el} mehāniskajā enerģijā P_{meh} . Zudumi, kuri rodas ir sekojoši – berzes zudumi, kas attiecas uz P_{meh} un tinuma jaudas zudumi P_J . Tādējādi jaudas bilance var būt izteikta sekojoši:

$$P_{el} = P_{meh} + P_J \quad (1.1)$$

Detalizēti to var izteikt izmantojot sekojošu formulu:

$$U \cdot I = \frac{\pi \cdot n \cdot M}{30000} + R \cdot I^2, \quad (1.2)$$

kur U - pieliktais spriegums, V;

I - strāvas stiprums, A;

M - moments, kurš darbojas uz elektromotoru, mN·m;

R - rotora tinumu pretestība, Ω ;

n - elektrodzinēja rotācijas ātrums, min^{-1} .

Elektromehāniskās motora konstantes

Magnētiskā kontūra un tinuma ģeometriskais izvietojums detalizēti nosaka kādā veidā elektromotors pārveido elektrisko ieejas enerģiju (strāva, spriegums) mehāniskajā izejas enerģijā (ātrums, moments). Divi svarīgi raksturlielumi šajā enerģijas pārveidošanas procesā ir ātruma konstante k_n un momenta konstante k_m . Ātruma konstante apvieno ātrumu n ar tinumā inducēto spriegumu U_{ind} . U_{ind} ir proporcionāls ātrumam, tātad:

$$n = k_n \cdot U_{ind} . \quad (1.3)$$

Līdzīgi arī momenta konstante sasaista mehānisko momentu M ar elektrisko strāvu I :

$$M = k_m \cdot I . \quad (1.4)$$

Galvenais šīs proporcionalitātes punkts ir tas, ka elektromotora moments un strāva ir līdzvērtīgi.

Strāvas gradients

Jo lielāka strāva plūst caur elektromotoru, jo lielāku momentu tas spēj attīstīt. Strāvas līmeni ierobežo divi punkti – bez-slodzes strāva I_0 un starta strāva I_A . Bez-slodzes strāva ir ekvivalenta berzes momentam M_R , kas apraksta iekšējo berzi gultņos un pārslēgšanas mehānismā:

$$M_R = k_m \cdot I_0 . \quad (1.5)$$

Elektromotori attīsta lielāko momentu uzsākot ieskriešanos. Šis moments ir vairākas reizes lielāks salīdzinot ar parasto ekspluatācijas momentu, tātad arī strāva šajā brīdī ir nepieciešama lielāka. Sekojoša sakarība pastāv starp apstādināta elektromotora momentu M_H un starta strāvu I_A :

$$M_H = k_m \cdot I_A . \quad (1.6)$$

Lietderības koeficients

Lietderības koeficients η apraksta sakarību starp mehānisko enerģiju, ko iegūstam patērējot elektroenerģiju:

$$\eta = \frac{\pi}{30000} \cdot \frac{n \cdot (M - M_R)}{U \cdot I} . \quad (1.7)$$

Kā redzams, tad pie konstanta pieliktā sprieguma U un sakarā ar momenta un strāvas proporcionalitāti, lietderības koeficients palielinās, pieaugot ātrumam (samazinoties momentam). Pie maziem momentiem, berzes zudumi kļūst aizvien lielāki un lietderības

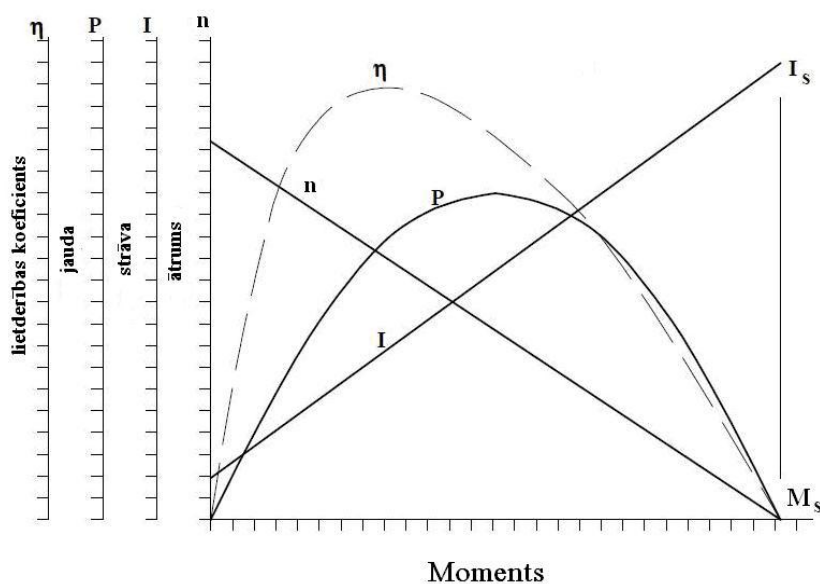
koeficients var sasniegt nulles vērtību. Lielākais lietderības koeficients ir aprēķināms ņemot vērā starta strāvu un bez-slodzes strāvu un tas ir atkarīgs no sprieguma:

$$\eta_{\max} = \left(1 - \sqrt{\frac{I_0}{I_A}}\right)^2. \quad (1.8)$$

Pēc likuma izriet, ka lietderības koeficients savu maksimālo vērtību sasniedz pie aptuveni vienas septiņdaļas no konstantā momenta. Tas nozīmē, ka maksimālais lietderības koeficients un maksimālā izejas jauda nevar tikt sasniegta pie viena un tā paša momenta.

1.2. Uzgriežgrieža-skrūvgrieža jaudas noteikšanas metode

Literatūrā [12, 14, 21, 22, 23, 24, 25] aprakstīta jaudas noteikšana atkarība no sākuma apgriezieniem un slodzes momenta, taču netiek izskatīta enerģijas patēriņa atkarība no sākuma apgriezieniem. Tas ir saistīts ar to, ka parasti elektromotors tiek lietots nemainīgā vai lēni mainīgā režīmā. Ātri mainīgā režīma nav iespējams nomērīt jaudu ar tradicionālajam metodēm (izmantojot vatmetru). Lietojot elektromotoru īslaicīgos režīmos jauda jāaprēķina katram režīmam atsevišķi. Ka arī tiek apskatīti motora parametri tikai tajā diapazonā, kuru tie var sasniegt un netiek izskatītas iespējas šo diapazonu paplašināt. Tas netiek darīts tāpēc, ka tas prasa papildus ieguldījumus iekārtas izveidošanai.



1.1.att. Elektromotora raksturlīknes

1.1.attēlā redzamo diagrammu var uzbūvēt jebkādam līdzstrāvas elektromotoram, ja vien ir pieejami nepieciešamie šī elektromotora dati [11, 14, 27]. Kaut arī pielāides un temperatūras ietekme netiek ņemtas vērā, iegūtās vērtības ir pietiekamas aptuvenam novērtējumam. Diagrammā ātrums n , strāva I , izejas jauda P un lietderības koeficients η tiek lietoti kā momenta M pie konstanta sprieguma U funkcijas. I_s un M_s attiecīgi apturēta motora strāva un moments.

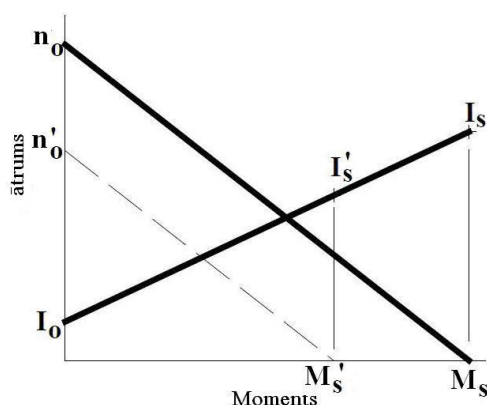
Literatūras avotā [13, 19] tiek apskatīti jaudas zudumi atkarībā no impulsu modulatora darba frekvences un aizpildījuma koeficienta. Šajā darbā tas netika apskatīts, jo šie zudumi sastāda zemu zudumu procentu no kopējiem zudumiem.

Ātrums-moments grafiks

Ātrums-moments grafiks apraksta elektromotora mehānisko uzvedību pie konstanta sprieguma U :

- ātrums samazinās lineāri, pieaugot momentam;
- jo ātrāk elektromotors rotē, jo mazāks ir moments, ko tas var radīt.

Ātruma-momenta līnija var tikt aprakstīta izmantojot divus galapunktus – bez-slodzes ātrumu n_0 un apturēta elektromotora momentu M_s . Līdzstrāvas elektromotors var darboties pie jebkāda sprieguma. Bez-slodzes ātrums un apturēta elektromotora moments izmainās proporcionāli pieliktajam spriegumam. I_0 tukšgaitas strāva pie nominālā sprieguma. To var attēlot kā paralēli pārnestu ātrums-moments līniju (1.2.att.).



1.2.att. Ātrums-moments grafiks dažādām regulējamām sprieguma padevēm

Starp bez-slodzes ātrumu un spriegumu ir spēkā sekojoša proporcionalitāte:

$$n_0 = k_n \cdot U. \quad (1.9)$$

Neatkarīgi no sprieguma, ātrums-moments līniju vairāk praktiski var aprakstīt izmantojot slīpi ejošu līniju vai gradientu:

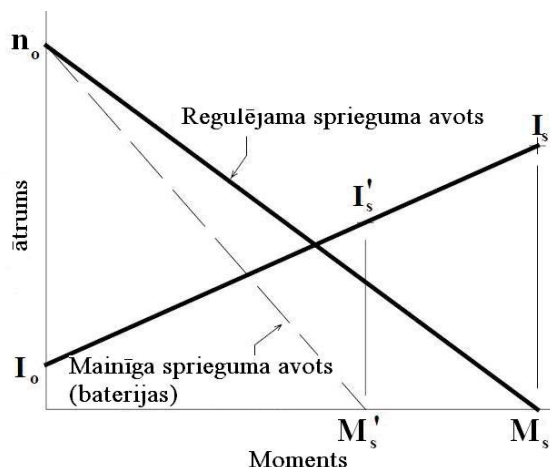
$$\frac{\Delta n}{\Delta M} = \frac{n_0}{M_H}. \quad (1.10)$$

Ātrums-moments gradients ir viens no informatīvākajiem lielumiem, kas ļauj tieši salīdzināt dažādus elektromotorus. Jo mazāks ir ātrums-moments gradients, jo mazāk jūtīgi ātrums reaģē uz momenta (slodzes) izmaiņām un tādējādi, jo spēcīgāks ir elektromotors.

Atšķirībā no regulējamiem sprieguma avotiem, baterijas nevar uzturēt konstantu spriegumu palielinoties momentam. Tas ir izskaidrojams ar baterijas iekšējo pretestību, kas izsauks sprieguma krišanos tiklīdz palielināsies strāva. Lai pārvērstu regulējama sprieguma padeves avota grafiku uz baterijas sprieguma padeves grafiku, var izmantot sekojošu aptuveno sakarību:

$$M'_H = M_H \cdot \frac{U_{sl}}{U_0}. \quad (1.11)$$

Šeit U_0 ir konstants spriegums, kas atbilst regulējamai sprieguma padevei un tas ir iegūts no līknēm, kuras sniedz elektromotora ražotājs. Šajā vienādojumā vienīgais lielums, ko ir jāpamēra ir U_{sl} , kas ir patiesais motora gala spriegums. Baterijas iekšējo pretestību R_{BAT} var noteikt pēc formulas (1.12), iepriekš nomērot baterijas spriegumu bez-slodzes U_0 , tad pieslēdzot kādu slodzi un nomērot baterijas spriegumu U_{sl} un patērējamo strāvu I_{sl} . Tāpat ir jāpiezīmē, ka n_0 un I_0 nemainās kopš brīža, kad baterijas darbojas tieši tāpat kā regulējamie sprieguma padeves avoti pie bez-slodzes nosacījumiem (1.3.att.).



1.3.att. Baterijas sprieguma padeve

$$R_{BAT} = \frac{U_0 - U_{sl}}{I_{sl}} \quad (1.12)$$

1.3. Elektroenerģijas patēriņa noteikšana

Zinot, kādu jaudu attīsta elektromotors atbilstošajā režīmā un attiecīgi katra režīma laiku ir iespējams noteikt elektroenerģijas patēriņu. Nekustīgo vītņu savienojuma salikšanas laiks sastāv no rotorgalviņas ieskrējiena laika, skrūvēšanas laika un pievilšanas laika.

Literatūras avotā [17, 25] ir dotas formulas ieskrējiena laika aprēķinam un paātrinājuma noteikšanai, bet netiek apskatīts iespaids uz kopējo elektroenerģijas patēriņu atkarībā no šī laika. Tas ir saistīts ar to, ka parasti elektromotors tiek darbināts vairākas minūšu desmitdaļas, minūtes vai pat stundas un uz kopējā enerģijas patēriņa fona ieskrējiena laika iespaids ir ļoti niecīgs. Savukārt, darbinot uzgriežņgriezi bieži ar lieliem sākuma apgriezieniem uz īsu laiku brīdi līdz dažām sekundēm, ieskrējiena laikā patērētā enerģija var aizņemt līdz pat 80% no kopējā elektroenerģijas patēriņa visā darbības laikā.

Nav sastopami mērījumi vai apraksti, kuros būtu izklāstīts, cik procentu enerģijas tiek patērēts darbinot uzgriežņgrieža sprūdieci, pēc tam, kad ir sasniegts nepieciešamais moments. Nav ziņu par to cik elektroenerģijas būtu iespējams ietaupīt apturot uzgriežņgrieža elektromotoru uzreiz, kad ir sasniegts uzstādītais moments. To ir iespējams noteikt teorētiski, zinot elektromotora izejas datus, pārnesumu kārbas parametrus un slodzi ar kuru tiek noslogots motors. Šī atkarība netiek apskatīta, jo aprēķini ir diezgan sarežģīti un ne katram elektromotoram ir iespējams iegūt izejas datu lapu.

1.4. Pētījuma galvenie uzdevumi

Uz literatūras apskata bāzes var izdarīt secinājumu, ka rūpniecības vajadzībām ir nepieciešams novērst minētos trūkumus un optimizēt enerģijas patēriņu pēc salikšanas laika nekustīgo vītņu savienojumu salikšanā. Uzdota mērķa sasniegšanai bija izvirzīti sekojoši uzdevumi:

- 1) Apskatīt līdzstrāvas elektromotora moments-ātrums līkņu kopu.
- 2) Aprēķināt pievilšanas momentu izvēlētajām bultskrūvēm.
- 3) Teorētiski un praktiski noteikt enerģijas patēriņu un salikšanas laiku izvēlētajām bultskrūvēm. Veikt iegūto rezultātu apstrādi un salīdzinošo analīzi.

- 4) Sagatavot eksperimentālo iekārtu ar mēraparātu kompleksu, kas ir paredzēta pētījumu veikšanai.
- 5) Izpētīt papildus ceļus elektroenerģijas samazināšanai.

2. nodaļa. SKRŪVGRIEŽA LIETOŠANAS NOSACĪJUMI NEKUSTĪGO VĪTŅU SAVIENOJUMU IEGŪŠANAI

Šajā nodaļā tika apskatīts viens no izplatītākajiem elektromotora raksturlielumu grafiskās attēlošanas veidiem, moments-ātrums līkne. Moments-ātrums līkņu grafiskā attēlošana ir biežāk sastopama tehniskajā literatūrā tieši līdzstrāvas elektromotoriem ar lielāku jaudu, taču šos grafikus iespējams pielietot arī elektromotoriem ar mazākām jaudām. Moments-ātrums līknes tiek izveidotas ņemot vērā elektromotora ātrumu, rotora strāvu, mehānisko izejas jaudu un lietderības koeficientu kā funkciju no elektromotora momenta.

2.1. Elektromotora līkņu moments-ātrums izveidošanas metodika

- 1) Vispirms ir jāizmēra daži elektromotora parametri: bez-slodzes rotācijas ātrums, strāva neslogotam motoram, motora apstāšanās strāva un moments, rotora tinumu pretestība.
- 2) Izmantojot iegūtos rezultātus jāsaprot elektromotora raksturliķni strāva attiecībā pret momentu un rotācijas ātrums attiecībā pret momentu. No raksturliķnes jānosaka elektromotora momenta konstanti k_m . Ņemot vērā iepriekš iegūto momenta konstanti jānosaka elektromotora ātruma konstante k_e . Reizinot ātruma konstanti ar nominālo elektromotora spriegumu, jāiegūst elektromotora teorētisko bez-slodzes ātrumu.
- 3) Lai atliktu elektromotora mehāniskās jaudas un lietderības koeficienta raksturliķni ir jā sastāda tabula ar patērējamās strāvas un rotācijas ātruma vērtībām pie dažādām momenta vērtībām, sākot no bez-slodzes momenta, līdz apstāšanās momentam. Elektriskās jaudas vērtības var noteikt pēc formulas (2.1). Mehāniskā jauda ir momenta un rotācijas ātruma reizinājums. Lietderības koeficienta vērtības var atrast pēc formulas (2.2).

$$P_{el} = U \cdot I, \quad (2.1)$$

kur P_{el} – motora elektriskā jauda, W;
 U – pieliktais spriegums, V;
 I – rotora strāva, A.

$$\eta = (P_{meh}/P_{el}) \cdot 100, \quad (2.2)$$

kur η – lietderības koeficients, %;
 P_{meh} – motora mehāniskā jauda, W.

2.2. Nodaļas secinājumi

Apskatīts elektromotora raksturliķņu moments-ātrums izveidošanas piemērs, kuram nav pieejama ražotāja datu lapa. Izveidojot šīs raksturliķnes ir iespējams veikt elektromotora patērējamās jaudas aprēķinus pie dažādiem tā darbības režīmiem atkarībā no slodzes momenta un darba sprieguma.

3.nodaļa. PIEVILKŠANAS MOMENTA APRĒĶINS IZVĒLĒTAJĀM BULTSKRŪVĒM

Teorētiskajam aprēķinam un praktiskajam eksperimentam divu metālisko plākšņu savienošanai ar izmēru 80x70x15 tika izvēlētas plaši pielietojamās 40 mm garas standarta bultskrūves: M5x0,8; M6x1,0; M8x1,25 un M10x1,5 ar nomināliem diametriem un metriskās vītnes soļiem pēc VS 8724-81 un VS 24705-81 [2, 9]. Balstoties uz veiktajiem aprēķiniem un noapaļojot teorētiski aprēķinātā pieļaujamā pievilšanas momenta vērtības, iegūstam: M5- 4 N*m; M6- 7N*m; M8- 15 N*m un M10- 30 N*m.

4.nodaļa. SALIKŠANAS LAIKA UN ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA TEORĒTISKAIS APRĒĶINS

4.1. Salikšanas laika noteikšana

Vītņu savienojumu salikšanas laiks, izmantojot elektromotoru, ir atkarīgs no tādiem parametriem, kā elektromotora paātrinājums α , elektromotora rotora inerce J_{ROT} , citu sistēmas rotējošo elementu inerce J_L , elektromotora griešanās ātruma un citiem parametriem.

Lai noteiktu salikšanas laiku vispirms ir jāaprēķina rotorgalviņas paātrinājums α (4.1) laikā kad motors tiek ieslēgts līdz laikam kad iestājas konstanti uzstādītie apgriezieni [13].

$$\alpha = 10^4 \cdot \frac{M_H}{J_{ROT} + J_L}, \quad (4.1)$$

kur: M_H – moments, kuru attīsta motors, kad tiek apturēts (maksimālais moments, kuru motors spēj attīstīt).

Laiku t_{iesk} , kurā notiek apgriezienu uzņemšana var aprēķināt pēc formulas (4.2) [28]:

$$t_{iesk} = \frac{\omega}{\alpha}, \quad (4.2)$$

kur: ω – leņķiskais ātrums, līdz kuram tiek uzņemti apgriezieni.

Lai noteiktu skrūvēšanas laiku t_{skr} (4.6) vispirms ir jānosaka cik apgriezienu n_{iesk} veica rotorgalviņa ieskrējiena laikā (4.3) un cik apgriezienu nepieciešams n_{kop} , lai veiktu salikšanu (4.5). Jāņem vērā, ka elektromotors un rotorgalviņa griežas ar dažādiem ātrumiem. Kādā attiecībā griežas elektromotors un rotorgalviņa nosaka pārnese skaitlis A .

$$n_{iesk} = \frac{\varphi}{360 \cdot A}, \quad (4.3)$$

kur: φ – Pārgriezienu leņķis ko veica elektromotors ieskrējiena laikā.

Pārgriezienu leņķi φ var atrast pēc formulas (4.4) [26, 28]:

$$\varphi = \frac{\alpha \cdot t_{iesk}^2 \cdot 90}{\pi}, \quad (4.4)$$

$$n_{kop} = \frac{l}{p}, \quad (4.5)$$

kur: l – saskrūvēšanas garums,
 p – vītnes solis.

$$t_{skr} = \frac{(n_{kop} - n_{iesk}) \cdot 60}{n}, \quad (4.6)$$

kur: n – rotorgalviņas apgriezieni minūtē.

Reakcijas laika t_r vērtības tika eksperimentāli noteiktas. Aprēķinos tika ņemta vidējā reakcijas laika vērtība no 10 mērījumu rezultātiem pie attiecīga griešanās ātruma.

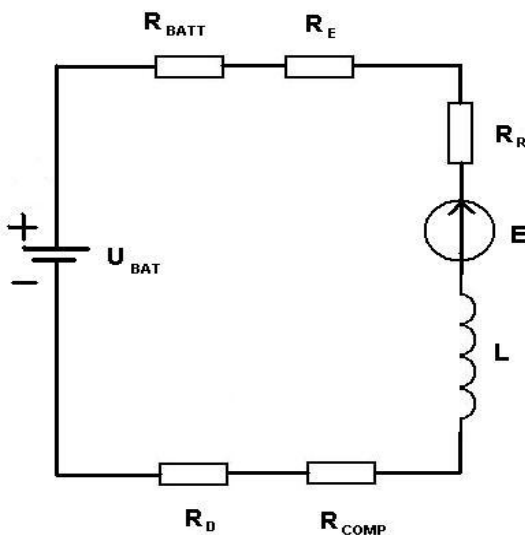
4.2. Elektroenerģijas patēriņa aprēķins

Aprēķinot elektroenerģijas patēriņu, tā tiks rēķināta 3 posmos, laikam kad:

- 1) notiek motora ieskrējens,
- 2) notiek skrūvēšana pie patstāvīgiem sākuma apgriezieniem,
- 3) pievilkšana ir notikusi, bet palaišanas poga vēl nav atlaista.

Pievilkšanas laiks netiks ņemts vērā jo tas ir niecīgs salīdzinot ar kopējo salikšanas laiku un maz iespaido gala rezultātu.

Dotajai iekārtai ķēdes ekvivalentā shēma 4.1.att. sastāv no akumulatora baterijas, kuras spriegums U_{BAT} , akumulatora baterijas iekšējās pretestības R_{BATT} , rezistora R_E no kura tiek noņemts spriegums strāvas noteikšanai, tranzistora pretestības R_D , motora rotora tinumu pretestības R_R un no komparatora pretestības R_{COMP} , kura palaišanas laikā vienāda ar nulli, motora rotora tinumu induktivitātes L , kura aprēķinos netiks ņemta vērā, elektrodzinējspēks, kas darbojas strāvas plūšanas pretējā virzienā un tā vērtība E ir proporcionāla motora apgriezieniem.



4.1. att. Iekārtas ekvivalentā elektriskā shēma

Lai aprēķinātu enerģijas patēriņu ieskrējiena laikā vispirms ir jānosaka strāvas stiprums. Ieskrējiena sākumā strāvas vērtība I_{STALL} ir dota motora datu lapā. Strāvas stiprumu I_{START2} ieskrējiena beigās var aprēķināt pēc formulas (4.7):

$$I_{START2} = \frac{U_{BAT} - E}{R_{BATT} + R_E + R_R + R_{COMP} + R_D}. \quad (4.7)$$

Elektrodzinējspēks E ir proporcionāls motora apgriezieniem n . To var aprēķinot pēc formulas (4.8) [19, 21, 24, 29]:

$$E = \frac{n}{k_n}, \quad (4.8)$$

kur: k_n – ātruma konstante.

Tagad ir iespējams aprēķināt vidējo strāvu I_{START_VID} ieskrējiena laikā. Pieņemot, ka strāva ieskrējiena laikā samazinās lineāri, tad to var aprēķināt pēc formulas (4.9):

$$I_{START_VID} = \frac{I_{STALL} + I_{START2}}{2}. \quad (4.9)$$

Zinot strāvas vērtību var aprēķināt ieskrējiena laikā attīstīto jaudu P_1 pēc formulas (4.10).

$$P_1 = U \cdot I = I_{START_VID} \cdot (U_{BAT} - I_{START_VID} \cdot R_{BATT}). \quad (4.10)$$

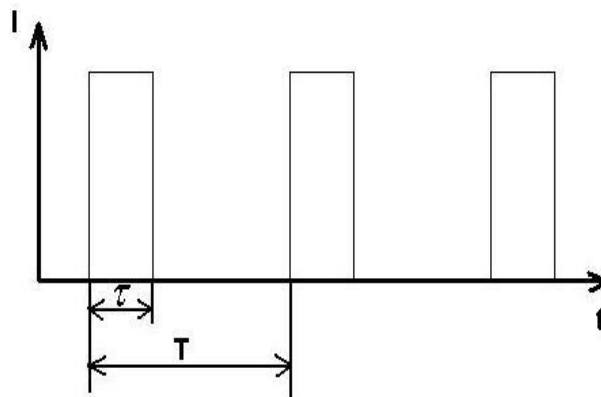
Jebkurai akumulatora baterijai piemīt iekšējā pretestība, uz kuras rodas sprieguma kritums, kurš ir proporcionāls strāvai. Rēķinot jaudu tas ir jāņem vērā, jo pie lielām patērējamām strāvām baterijas spriegums var kristies uz pusi un vairāk, kas lielā mērā iespaidotu gala rezultātu neņemot korekto sprieguma vērtību. Kā aprēķināt baterijas iekšējo pretestību bija rakstīts augstāk, formula (1.12.).

Skrūvēšanas laikā ar konstantu ātrumu, kad darbojas impulsu platuma modulators, impulsu amplitūda ir vienāda ar I_{START2} vērtību un tā paliek nemainīga līdz pat pievilksanas sākumam. Lai aprēķinātu vidējo strāvas vērtību ir jāzina aizpildījuma koeficients D . To var atrast pēc formulas (4.11) [10, 15, 20, 31]:

$$D = \frac{\tau}{T}, \quad (4.11)$$

kur: τ – impulsa platums,
 T – impulsu atkārtošanās periods.

τ un T ir iespējams noteikt ar oscilogrāfu 4.2. att.



4.2. att. Strāvas impulsi

Strāvas vidējo vērtību I_{PULSE_AV} impulsu režīmā var aprēķināt pēc formulas (4.12):

$$I_{PULSE_AV} = I_{START2} \cdot D. \quad (4.12)$$

Tad jaudu P_2 skrūvēšanas laikā, ar konstantu ātrumu, var atrast pēc formulas (4.13):

$$P_2 = I_{PULSE_AV} \cdot (U_{BAT} - I_{START2} \cdot R_{BATT}). \quad (4.13)$$

Strāvas aprēķinā reakcijas laikā, kad uzgrieznis jau ir pievilkts ar uzstādīto momentu, bet vēl nav atlaista palaišanas poga, izšķir 2 gadījumus kad:

- elektromotors nespēj attīstīt nepieciešamo momentu ar uzstādītajiem apgriezieniem un, lai notiktu pievilksana ar uzstādīto momentu iedarbojas komparators. Šāda situācija ir raksturīga pie zemiem rotorgalviņas apgriezieniem (300 min^{-1} , 500 min^{-1}).
- elektromotors spēj attīstīt uzstādīto momentu un komparators neiedarbojas.

Gadījumā, kad iedarbojas komparators impulsu modulators pārstāj darboties un tranzistors tiek atvērts pilnībā bez pārtraukumiem. Strāvas vērtība reakcijas laika sākumā ir vienāda ar I_{START2} strāvas vērtību, kura pamazām samazinās. Iedarbojoties komparatoram tiek

padots pilns akumulatora baterijas spriegums un nepieciešamā strāva, kura ir proporcionāla motora apgriezieniem savukārt rotorgalviņa jau ir apstājusies un uz motoru darbojas uzstādītais moments. Strāvas samazinājums ir izskaidrojams ar to, ka pieslēdzot pilnu baterijas spriegumu, elektromotors sāk uzņemt apgriezienus. Strāvai krītoties līdz kādam zināmam līmenim komparators atslēgtos un elektromotora apgriezieni sāktu krist.

Jaudu P_{3_COMP} , gadījumā kad iedarbojas komparators, var aprēķināt pēc formulas (4.14):

$$P_{3_COMP} = I_{START2} \cdot (U_{BAT} - I_{START2} \cdot R_{BATT}). \quad (4.14)$$

Lai aprēķinātu jaudu P_3 reakcijas laikā, kad komparators neiedarbojas vispirms ir jāaprēķina līdz kādam ātrumam samazinājās motora apgriezieni n_{SL} (4.15) [15, 19, 29], līdz ar ko izmainījās strāvas vērtība I_3 .

$$n_{SL} = k_n \cdot \left(E - \frac{R_R M}{k_m} \right), \quad (4.15)$$

kur: k_m – momenta konstante,
 M – moments, ar kuru tiek noslogots elektromotors (mNm).

Momenta konstante k_m ir dota motora datu lapā. Tā kā starp motoru un rotorgalviņu ir pārnesuma zobratu, momentu M [16, 30], kas darbojas uz motoru var aprēķināt pēc formulas (4.16):

$$M = \frac{M_{ROT}}{A \cdot eff}, \quad (4.16)$$

kur: M_{ROT} – moments, kurš darbojas uz rotorgalviņu (mNm),
 A – elektromotora un rotorgalviņas apgriezienu attiecība,
 eff – pārnesuma zobratu efektivitāte.

Zinot līdz kādiem apgriezieniem samazinās elektromotora griešanās ātrums, no uzdotajiem, pēc formulas (4.17) var aprēķināt patērējamās strāvas vērtību I_3 :

$$I_3 = \frac{E - \frac{n_{SL}}{k_n}}{R_{BATT} + R_E + R_R + R_{COMP} + R_D} \cdot D. \quad (4.17)$$

Formulā (4.17.) E vērtība jāņem pie uzstādītajiem apgriezieniem, kad elektromotors vēl nav noslogots.

Jaudu P_3 , kad komparators nedarbojas var noteikt pēc formulas (4.18.):

$$P_3 = I_3 \cdot (U_{BAT} - I_3 \cdot R_{BATT}). \quad (4.18)$$

Lai aprēķinātu elektroenerģijas patēriņu salikšanas procesā nepieciešams zināt salikšanas laika atsevišķas daļas, laiku kad notiek elektromotora apgriezienu uzņemšana t_{iesk} , laiku t_{skr} , kad uzgrieznis tiek skrūvēts ar uzdotajiem sākuma apgriezieniem un reakcijas laiku t_r . Laiks, kurā notiek uzgriežņa pievilksana t_{piev} elektroenerģijas patēriņa aprēķinos netiek ņemts vērā, jo tas ir ļoti īss un praktiski neiespaido rezultātu.

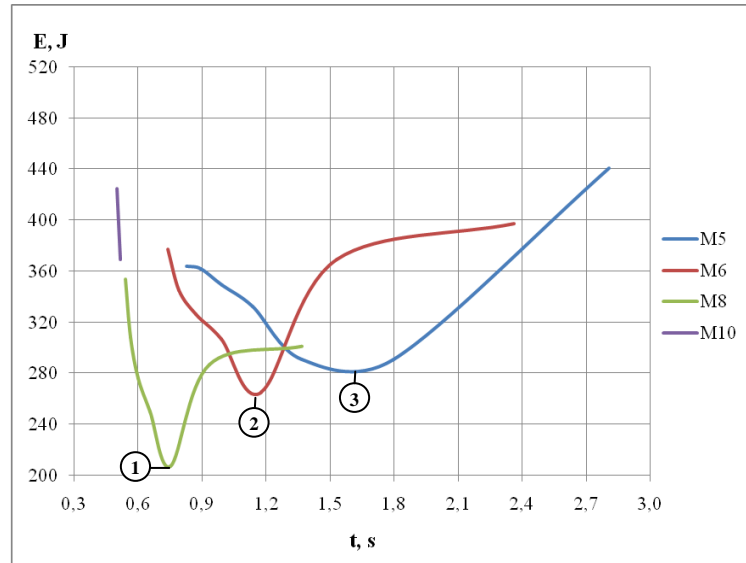
Elektroenerģijas patēriņu E salikšanas procesam var aprēķināt pēc formulas (4.19). Elektroenerģijas patēriņu E_{COMP} , kad iedarbojas komparators, nepieciešamā momenta sasniegšanai, var aprēķināt pēc formulas (4.20).

$$E = P_1 \cdot t_{iesk} + P_2 \cdot t_{skr} + P_3 \cdot t_r. \quad (4.19)$$

$$E_{COMP} = P_1 \cdot t_{iesk} + P_2 \cdot t_{skr} + P_{3_COMP} \cdot t_r. \quad (4.20)$$

Iegūto vērtību grafiskā attēlošana tiek parādīta 4.3.att.

Bultskrūvei M10 teorētisko aprēķinu rezultātā pēc formulas (4.15) tika noteikts, ka ir iespējams sasniegt nepieciešamo pievilksanas momentu (30 N*m) sākot ar 1300 min⁻¹ sākuma apgriezieniem. Tāpēc grafiski tika attēloti 2 punkti (pie 1300 min⁻¹, 1500 min⁻¹).



4.3. att. Teorētiski noteikts elektroenerģijas patēriņš salikšanas procesā bultskrūvēm M5, M6, M8 un M10

4.3. Nodaļas secinājumi

Veikti pievilksanas laika un patērētās elektroenerģijas teorētiskie aprēķini, kuros tika ņemti vērā uzgriežņgrieža ātri mainīgie procesi nekustīgo vītņu savienojumu iegūšanā: ieskrējiena laiks, sākuma apgriezieni, reakcijas laiks.

No iegūtajiem grafikiem redzams, ka veidojot nekustīgo vītņu savienojumu ar bultskrūvi M5 vidēji jāpatērē vairāk enerģijas nekā ar bultskrūvi M10. Tas ir saistīts ar to, ka bultskrūvei M5 ir mazāks vītnes solis nekā bultskrūvei M10, savukārt abu bultskrūvju garums ir vienāds.

Pēc elektroenerģijas patēriņa uzgriežņgrieža optimālie darba režīmi, nodrošinot attiecīgo bultskrūvju nepieciešamo pievilksanas momentu nekustīgajam savienojumam, parādīti 4.3. att.:

- 1) M5x40 bultskrūvei līklīniju 1-ais punkts;
- 2) M6x40 bultskrūvei līklīniju 2-ais punkts;
- 3) M8x40 bultskrūvei līklīniju 3-ais punkts;

Optimizācija pēc elektroenerģijas patēriņa M10x40 bultskrūvei nav iespējama.

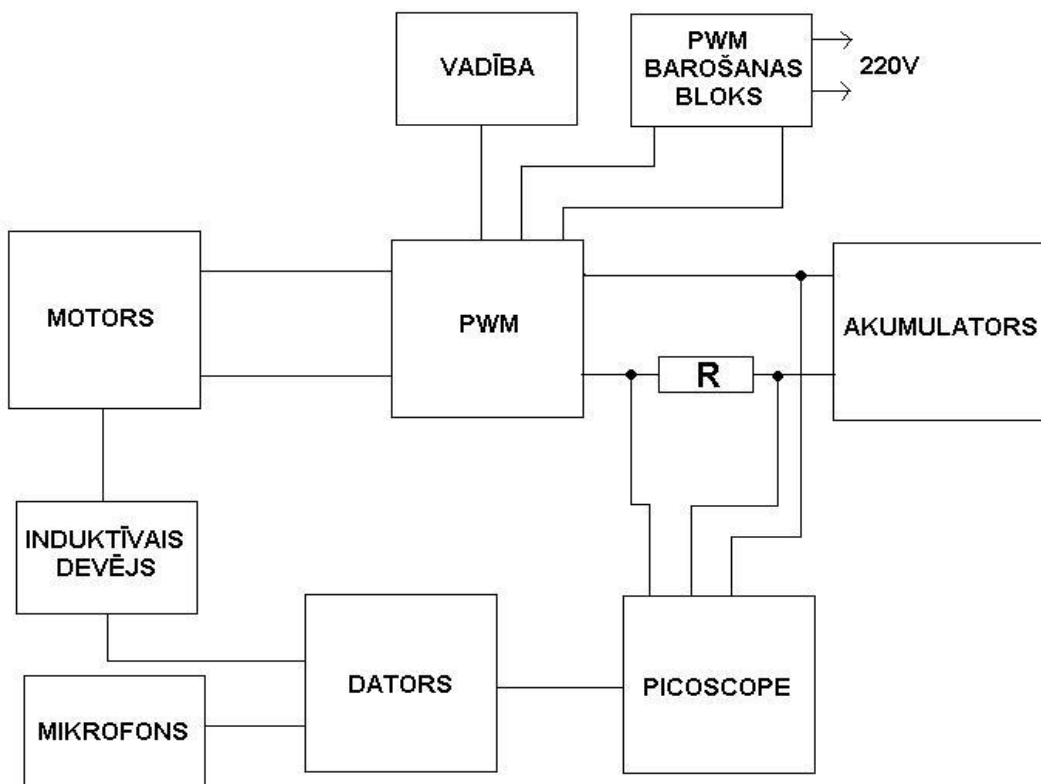
5.nodaļa.

KONTROLĒJAMIE PARAMETRI UN KONTROLMĒRĪJUMU APARATŪRA

Lai izpildītu iepriekš noteiktos uzdevumus, nepieciešams ne tikai veikt teorētiskus pētījumus, bet arī izstrādāt un izgatavot iekārtu eksperimentu veikšanai. Mērījumu un datu apstrādei, kuri saņemti eksperimentu gaitā, ir nepieciešama aparatūra un programmas nodrošinājums.

Iekārtas blokshēma parādīta 5.1. att. Iekārta sastāv no impulsu platuma modulatora PWM, kurš tiek vadīts ar rotorslēdža un potenciometru palīdzību. Barošana impulsu platuma modulatoram tiek padota no 220V elektriskā tīkla. Skrūvgrieža elektromotors tiek darbināts no akumulatora baterijas, kur ar impulsu platuma modulatoru tiek regulēts darba spriegums un strāva. Starp akumulatora bateriju un PWM virknē ieslēgts rezistors ar pretestību 0,005Ω patērējamās strāvas noteikšanai, kura spriegums pieslēgts dator-oscilogrāfa picoscope 2205

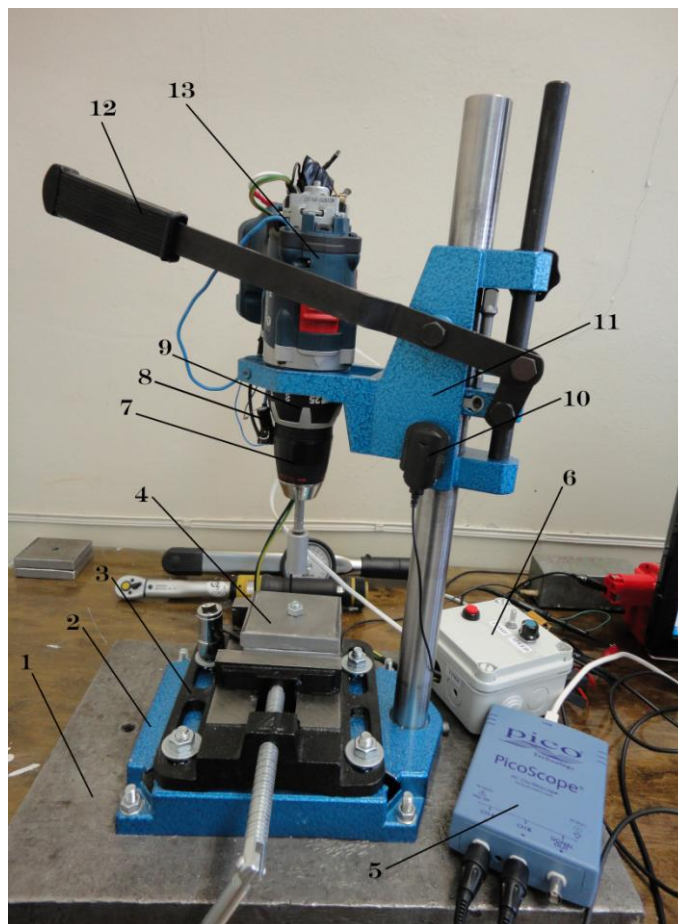
otrajam kanālam. Pirmajam dator-oscilogrāfa kanālam ir pieslēgts akumulatora baterijas spriegums. Picoscope 2205 pieslēgts datoram caur USB portu. Papildus datoram, caur skaņas karti, ir pieslēgts inductīvais devējs un mikrofons.



5.1. att. Iekārtas blokshēma

Vertikālais uzgrieznis ar vadības bloku

Izveidotā iekārta 5.2.att. sastāv no elektriskā skrūvgrieža Bosch GSR 14,4 VE-2 13, kurš ir piestiprināts pie statīva kustīgās daļas 11. Statīvs ir nostiprināts uz metāla plātnes 1 200*300*20 mm. Uz statīva pamatnes 2 ir piestiprinātas skrūvspīles 3 metālisko plākšņu 4 piestiprināšanai, kurās tika ievietota bultskrūve. Bultskrūve tika nostiprināta ar atslēgas palīdzību, kura tika atbalstīta pret skrūvspīlēm. Bosch elektriskais skrūvgriezis tiek pārvietots vertikālā virzienā ar rokturi 12. Eksperimenta laikā uz uzgriezni darbojās statīva kustīgās daļas 11 pašsvars 50 N. Nepieciešamais sajūga izslīdēšanas moments tika uzstādīts ar rotorslēdža 9 palīdzību. Pievilkšanas moments tika noteikts ar indikatora tipa dinamometrisko atslēgu (TOHNICHI DB50N ar 1/4" kvadrātu pēc DIN 3120, augsta precizitāte +/- 3% atbilstoši DIN/ISO) pēc atskrūvēšanas momenta. Uz statīva nelielā attālumā no skrūvgrieža rotorgalviņas 7 ir uzstādīts inductīvais devējs 8 un mikrofons 10, kuri padod signālu elektrisko impulsu veidā uz datora skaņas kartes ieeju. Vēlāk impulsi tiek apstrādāti ar programmu „Sony Sound Forge Audio Studio 10”. Jaudas noteikšanai tika izmantots USB osciloskops (Picoscope 2205).

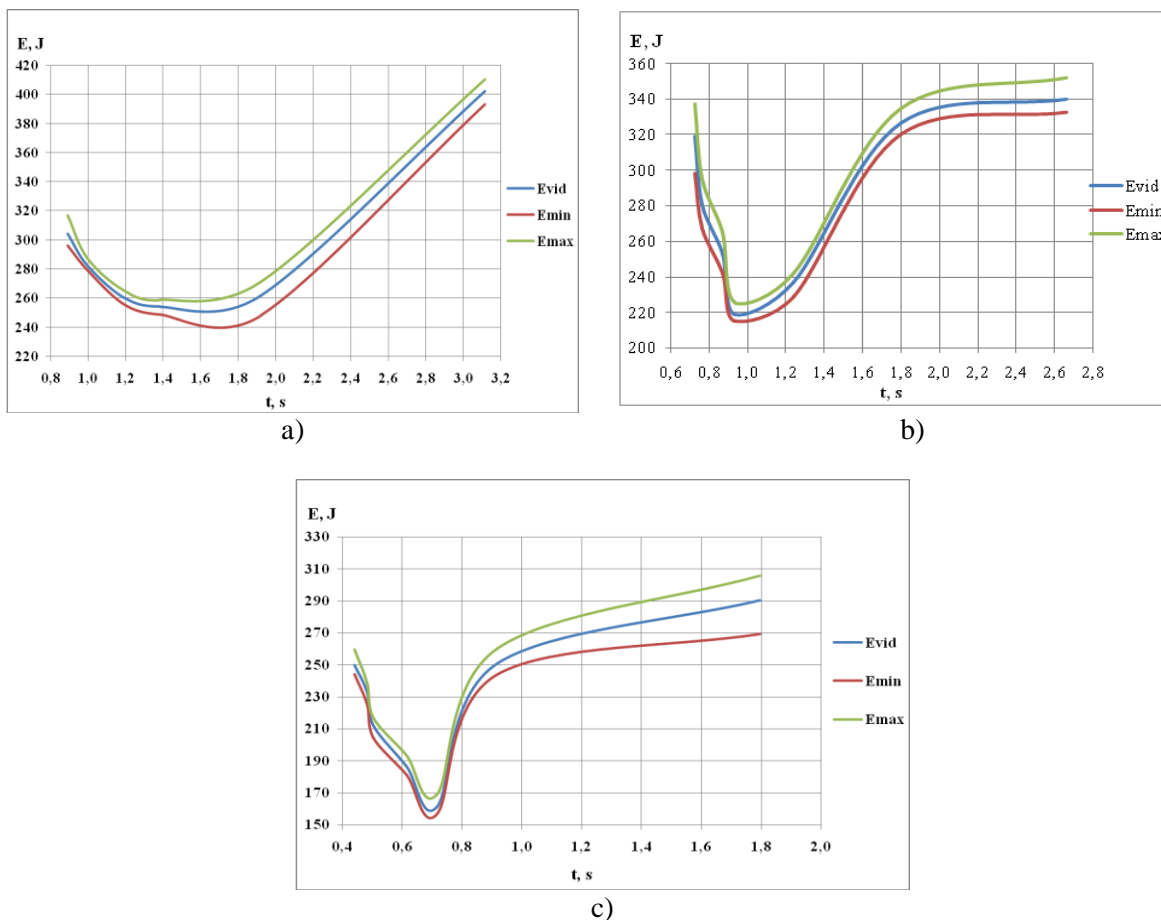


5.2.att. Iekārtas kopējais skats

6.nodaļa. ELEKTROENERĢIJAS PATĒRIŅA OPTIMIZĀCIJA

6.1. Elektroenerģijas patēriņa praktiska noteikšana

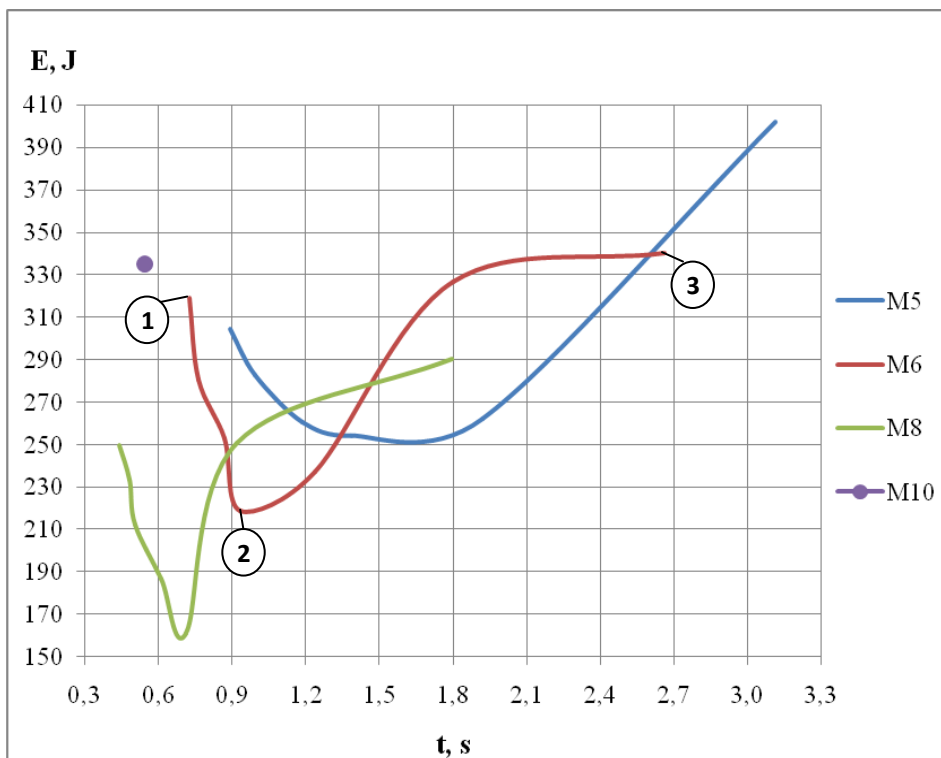
Eksperimenta veikšanas laikā izvēlētajām bultskrūvēm M5, M6, M8 un M10 izmantojot Picoscope 6 dator-oscilogrāfu tiek noteikti atbilstoši parametri: jauda (P,W) un salikšanas laiks (t, s), no kuriem tiek noteikts elektroenerģijas patēriņš. Izvēlētajā sākuma apgriezīnu mērīšanas diapazonā (no 300 min^{-1} līdz 1500 min^{-1}) pie katras apgriezīnu vērtības veikti 10 mērījumi. Mērījumu parametri tika ierakstīti tabulā, ja no teorētiski aprēķinātā pievilksanas momenta vērtības praktiski iegūtais pievilksanas moments (noteikts pēc atskrūvēšanas momenta ar indikatortipa dinamometrisko atslēgu Tohnichi DB50N) neatšķiras vairāk, kā par 10 %. M5 bultskrūvei netiek izmantota sākuma apgriezīni ar vērtību 1500 min^{-1} , jo pie viszemākās skrūvgrieža sajūga izslīdēšanas pozīcijas pievilksanas moments pārsniedza pieļaujamo vērtību. Tas ir tāpēc, ka dinamiskā sistēmā vītņu savienojuma pievilksanas moments ir atkarīgs ne tikai no uzgriežņgrieža sajūga pārslīdēšanas momenta (tiek iestatīts pagriežot uzgriežņgrieža rotor-slēdzi), bet arī no papildus momenta, kurš rodas no rotorgalviņas un uzgriežņa kinētiskās enerģijas. Saskaņā ar kinētiskās enerģijas izmaiņas teorēmu dotā kinētiskā enerģija pāriet papildus pievilksanas momentā [1]. Bultskrūvei M10 aprēķinātais moments tika nodrošināts tikai pie 1500 min^{-1} un skrūvgrieža maksimāla sajūga izslīdēšanas momenta (skrūvgrieža 25. pozīcija). Vērtību grafiska attēlošana attiecīgajām bultskrūvēm ir parādītas 6.1. att.



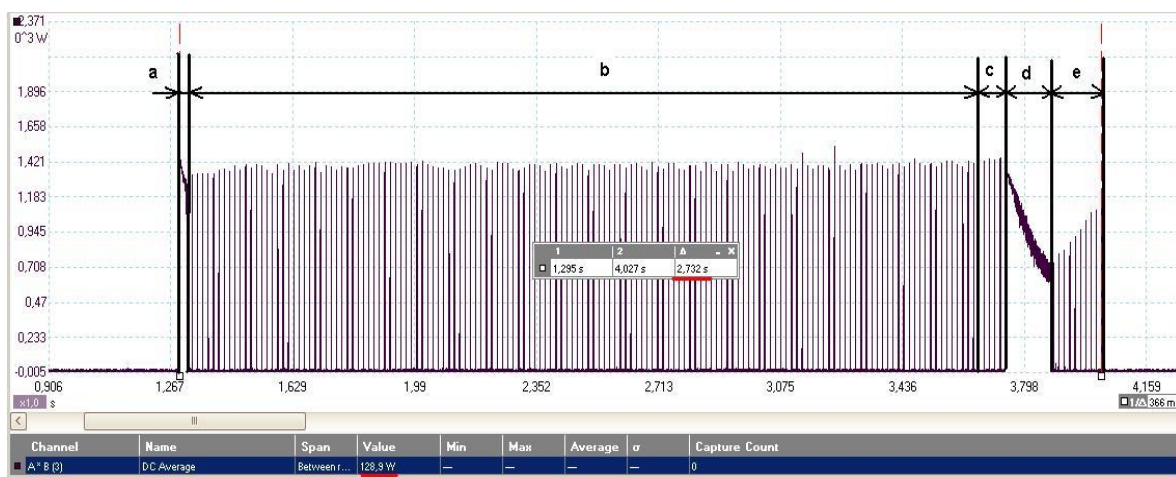
6.1. att. Elektroenerģijas patēriņš atkarībā no salikšanas laika bultskrūvei: a - M5x0,8, b - M6x1,0, c - M8x1,25

6.2. Optimizācijas rezultāts

Katrai no bultskrūvēm enerģijas patēriņa vidējās vērtības atkarībā no salikšanas laika parādītas attiecīgi 6.2. att. Ir redzams, ka uzgriezņgriezīm-skrūvgriezīm ir tādi darba režīmi, kur ir iespējams optimizēt enerģijas patēriņu pēc salikšanas laika (sākuma apgriezieniem). Apskatot patērējamo jaudu, izdalot parabolās galvenos punktus uz M6 bultskrūves piemēra (6.2.att. - punkti 1,2 un 3) var aprakstīt katru šo procesu atsevišķi (parējām bultskrūvēm šie procesi būs identiski, izņemot M10, kur pievilksana ir iespējama tikai pie maksimāliem sākuma apgriezieniem). Secinām, ka lielāks enerģijas patēriņš uz minimāliem sākuma apgriezieniem saistīts ar komparatora ielēgšanu, nelielu apgriezīenu dēļ skrūvgrieža sajūgs nevar izslīdēt nodrošinot nepieciešamo momentu, tāpēc tiek palielināta strāva, līdz sajūga izslīdēšanai (6.3. att.- d posms) . Tāpat lielāks enerģijas patēriņš ir pie maksimāliem sākuma apgriezieniem, tas ir saistīts ar lielu strāvas patēriņu uz ieskriešanu un lielākiem strāvas zudumiem (6.5. att.- a posms). Pēc elektroenerģijas patēriņa 6.4. att. ir parādīts skrūvgrieža optimālais darba režīms, nodrošinot nepieciešamo pievilksanas momentu ($7 \text{ N}\cdot\text{m}$) bultskrūves M6 nekustīgajam savienojumam.

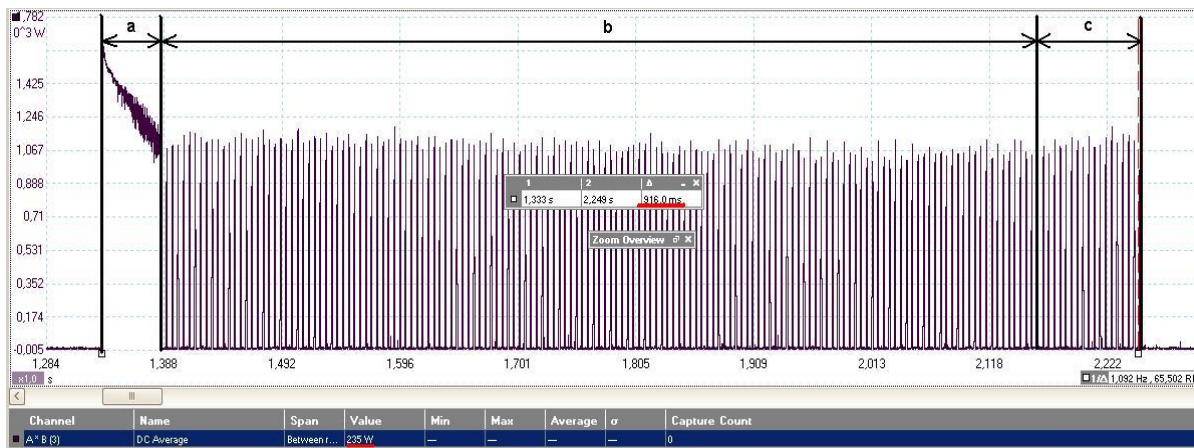


6.2.att. Elektroenerģijas patēriņa vidējās vērtības, atbilstošam buļskrūvēm, atkarība no salikšanas laika



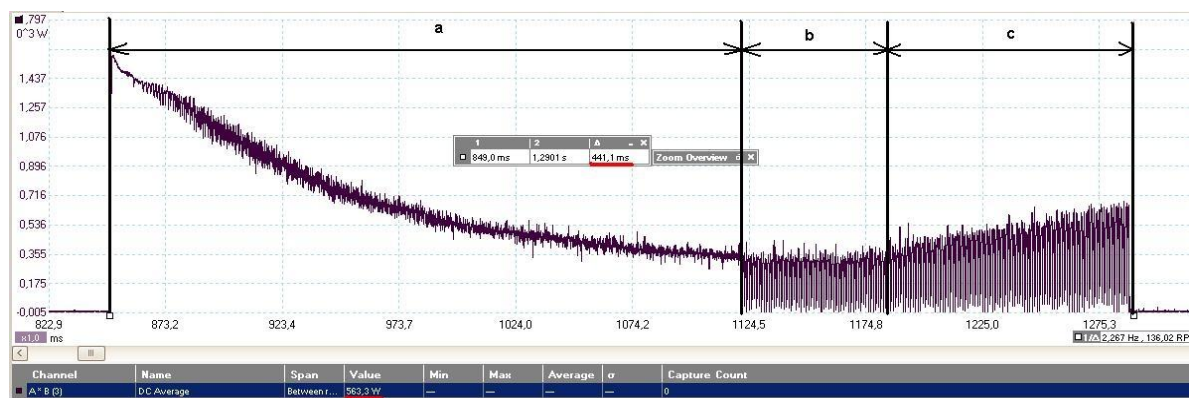
6.3. att. Parabolas 1-ais punkts. Patērējamā jauda buļskrūves M6x1,0 salikšanai pie sākuma apgriezieniem 300 min^{-1}

(a – ieskrējiena jauda, b – motora jauda, kad ir sasniegti uzstādītie apgriezieni, c – jauda pēc tam, kad ir notikusi uzgriežņa pievilkšana, bet vēl nav iedarbojies komparators, jo nav sasniegts uzstādītais nostrādāšanas līmenis, d – jauda, kad komparators ir nostrādājis, e – jauda, kad komparators ir izslēdzies, jo motors uzņēma apgriezienus, līdz ar ko samazinājās strāvas stiprums, kurš ir proporcionāls spriegumam no kura nostrādā komparators)



6.4. att. Parabolas 2-ais punkts. Patērējamā jauda bultskrūves M6x1,0 salikšanai pie sākuma apgriezieniem 900 min^{-1}

(a – ieskrējiena jauda, b – motora jauda, kad ir sasniegti uzstādītie apgriezieni, c – jauda, kad jau ir notikusi uzgriežņa pievilkšana, bet palaišanas poga vēl nav atlaista)



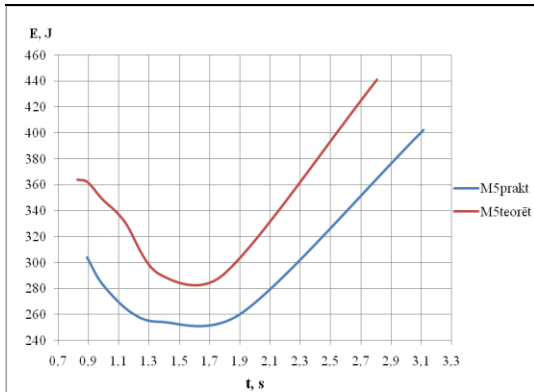
6.5. att. Parabolas 3-ais punkts. Patērējamā jauda bultskrūves M6x1,0 salikšanai pie sākuma apgriezieniem 1500 min^{-1}

(a – ieskrējiena jauda, b – motora jauda, kad ir sasniegti uzstādītie apgriezieni, c – jauda, kad jau ir notikusi uzgriežņa pievilkšana, bet palaišanas poga vēl nav atlaista)

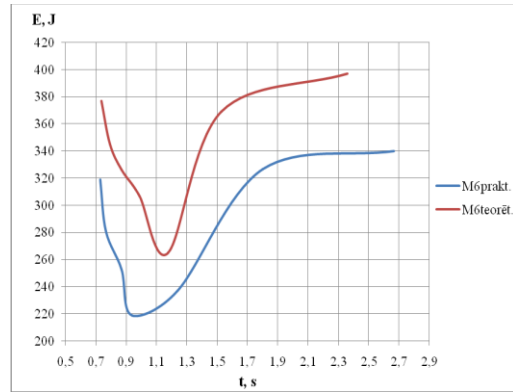
6.3. Eksperimentālo un teorētisko datu salīdzinājums

Salīdzinot teorētiski un praktiski iegūtās izmantojamās enerģijas un salikšanas laika vērtības, to atšķirība nepārsniedza 30%. Bultskrūvju teorētisko un praktisko vērtību salīdzinājums tiek attēlots 6.6 att., 6.7 att., 6.8 att., 6.9 att. Šī atšķirība varētu būt izskaidrojama ar to, ka elektroenerģijas aprēķinam tika izmantotas vienkāršotas formulas, kuras paredzētas elektromotoriem ar lineārām raksturlīknēm. Darbā izmantojamā motora raksturlīknes nedaudz atšķiras no lineārām un tām ir neliels eksponenciāls raksturs. Akumulatora baterijas vietā izmantojot patstāvīgu sprieguma avotu elektromotora raksturlīkņu nelinearitāti varētu samazināt. Salīdzinot rezultātu atšķirību ir redzams, ka pie zemiem sākuma apgriezieniem (300 min^{-1} , 500 min^{-1}) kļūda ir vismazākā, tad tā pieaug (900 min^{-1}) un atkal nedaudz krītas (1300 min^{-1} , 1500 min^{-1}). Mazā atšķirība pie zemiem sākuma apgriezieniem ir izskaidrojama ar to, ka raksturlīknēm praktiski ir lineārs raksturs. Savukārt, pie 900 min^{-1} reālajai nelineārai raksturlīknei ir vislielākā atšķirība no teorētiskās. Vēl teorētiskajos aprēķinos netika ņemti vērā tādi elektromotora lielumi kā rotora tinumu induktivitāte L , rotora tinumu pretestības atkarība no to temperatūras, baterijas sprieguma un strāvas atkarība no tās temperatūras, elektroenerģijas zudumi atkarībā no frekvences. Pie

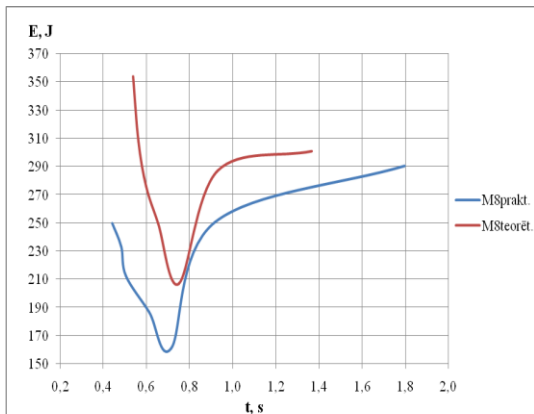
lielām un biežām elektromotora palaišanas strāvām elektromotora un baterijas temperatūra var pieaugt pat dažas reizes. Protams, zināmu ietekmi deva arī mērinstrumentu kļūda un nolasīšanas kļūda, kas arī ietekmēja atšķirību starp teorētiskajiem un praktiskajiem rezultātiem.



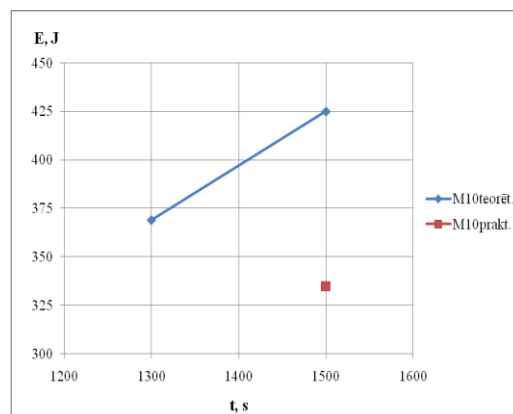
6.12. att. Teorētisko un praktisko vērtību salīdzinājums bulskrūvei M5x0,8



6.13. att. Teorētisko un praktisko vērtību salīdzinājums bulskrūvei M6x1,0



6.14. att. Teorētisko un praktisko vērtību salīdzinājums bulskrūvei M8x1,25



6.15. att. Teorētisko un praktisko vērtību salīdzinājums bulskrūvei M10x1,5

6.4. Nodaļas secinājumi

Balstoties uz iegūtajiem rezultātiem secinām, ka uzgriežņgriezīm-skrūvgriezīm ir tādi darba režīmi, pie kuriem ir iespējams veikt enerģijas patēriņa optimizāciju atkarībā no salikšanas laika. Visekonomiskākais skrūvgrieža režīms ir pie tādiem minimāliem sākuma apgriezieniem, kur nav nepieciešama papildus strāva (komparatora iesaiste), nodrošinot uzgriežņa pievilkšanu ar attiecīgo momentu.

Kaut arī teorētisko un praktisko rezultātu vērtību atšķirība sasniedza 30 %, tomēr skrūvgrieža optimālie režīmi elektroenerģijas patēriņa ziņā faktiski sakrīta. Jāatzīmē, ka teorētiskais aprēķins ir daudz darbietilpīgāks un mazāk precīzs, tāpēc lietderīgāk veikt praktiskos mērījumus elektroenerģijas patēriņa noteikšanai. Ņemot vērā to, ka skrūvgriezīm-uzgriežņgriezīm automatizētājā salikšanā parasti izmanto maksimālus rotorgalviņas apgriezienus, veicot enerģijas patēriņa optimizāciju pēc salikšanas laika, iegūstam samazinājumu:

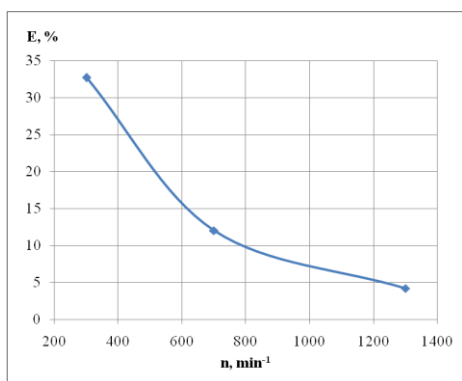
- 1) M5x40 bulskrūvei ar pievilkšanas momentu 4 N*m ir līdz 16,4%;
- 2) M6x40 bulskrūvei ar pievilkšanas momentu 7 N*m ir līdz 31,4%;
- 3) M8x40 bulskrūvei ar pievilkšanas momentu 15 N*m ir līdz 35,5%.

7.nodaļa.

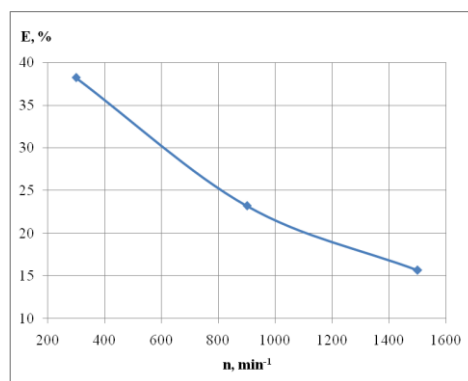
PAPILDUS PASĀKUMI ELEKTROENERĢIJAS SAMAZINĀŠANAI

7.1. Strāvas pārtraukšana pēc sprūdmehānisma nostrādāšanas

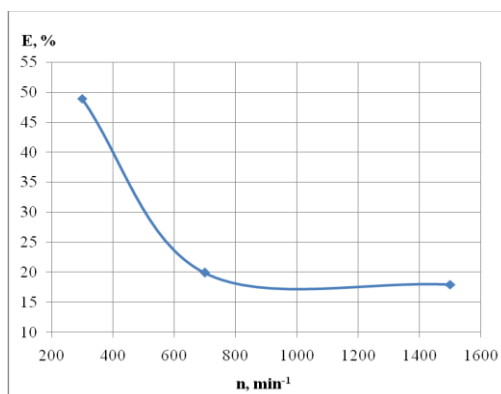
Mērījumu laikā ir novērots, ka sasniedzot nepieciešamo pievilkšanas momentu nostrādājot sprūdiecītei tiek patērēta enerģija uz sajūga bremsēšanu paejot reakcijas laikam, līdz palaišanas pogas atlaišanai. Bultskrūvēm M5x0,8, M6x1,0, M8x1,25 7.1. att. parādīta iespējama elektroenerģijas ekonomija % pārtraucot strāvas padošanu pēc pirmā sprūdmehānisma klikšķa (līdz reakcijas laikam), pie atbilstošiem sākuma apgriezieniem (minimāliem, maksimāliem un optimāliem).



a)



b)



c)

7.1.att. Elektroenerģijas ekonomija % no sākuma apgriezieniem bultskrūvei: a - M5x0,8, b - M6x1,0, c - M8x1,25

7.2. Nodaļas secinājumi

Ir atrasts ceļš papildus enerģijas samazinājumam, veicot nekustīgo vītņu savienojumu salikšanu, atslēdzot strāvu (piem., papildinot skrūvgriezi-uzgriežņgriezi ar momenta devēju, sasniedzot kuru elektromotors tiek atslēgts). Nostrādājot sprūdmehānismam, tiek patērēta papildus enerģija skrūvgrieža sajūgam pārvarot berzi, kamēr nav atlaista elektromotora palaišanas poga, jo lielāks reakcijas laiks, jo vairāk enerģijas tiek patērēts. Optimālajā režīmā (elektroenerģijas patēriņa un salikšanas laika ziņā) tas ļautu iegūt:

- 1) M5x40 bultskrūvei ar pievilkšanas momentu 4 N*m ir līdz 12%;
- 2) M6x40 bultskrūvei ar pievilkšanas momentu 7 N*m ir līdz 23,2%;
- 3) M8x40 bultskrūvei ar pievilkšanas momentu 15 N*m ir līdz 19,9%.

SECINĀJUMI

Darba rezultāta pamatā var izdarīt sekojošus secinājumus:

- 1) Veicot literatūras apskatu, konstatēts, ka darba izstrādes laikā pieejamajos informācijas avotos netiek pievērsta pietiekama uzmanība enerģijas patēriņa atkarībai no skrūvgrieža rotorgalviņas sākuma apgriezieniem un iegūstamā bultskrūves pievilkšanas momenta. Kā arī tiek apskatīti motora parametri tikai tajā apgriezienu diapazonā, kuru tie var sasniegt un netiek izskatītas iespējas šo diapazonu paplašināt. Trūkst informācijas par elektroenerģijas patēriņu ātri mainīgos skrūvgrieža darbības režīmos. Netiek pievērsta pietiekama uzmanība elektroenerģijas patēriņam ieskrējiena laikā. Nav ziņu par to cik elektroenerģijas būtu iespējams ietaupīt apturot uzgriežgrieža elektromotoru uzreiz, kad ir sasniegts uzstādītais moments.
- 2) Izveidojot moments-ātrums raksturlīkni ir iespējams veikt elektromotora patērējamās jaudas aprēķinus pie dažādiem tā darbības režīmiem atkarībā no slodzes momenta un darba sprieguma.
- 3) Veikti pievilkšanas laika un patērētās elektroenerģijas teorētiskie aprēķini, kuros tika ņemti vērā uzgriežgrieža ātri mainīgie procesi nekustīgo vītņu savienojumu iegūšanā: ieskrējiena laiks, sākuma apgriezieni, reakcijas laiks.
- 4) Sagatavota eksperimentālā iekārta ar mēraparatūras kompleksu pētījuma veikšanai. Kā jauninājumu var minēt to, ka apgriezienu mērīšanai un laika noteikšanai tiek izmantota datora skaņas karte.
- 5) Uzgriežgriežim-skrūvgriežim ir tādi darba režīmi, pie kuriem ir iespējams veikt enerģijas patēriņa optimizāciju atkarībā no salikšanas laika. Visekonomiskākais skrūvgrieža režīms ir pie tādiem minimāliem sākuma apgriezieniem, kur nav nepieciešama papildus strāva (komparātorā iesaiste), nodrošinot uzgriežņa pievilkšanu ar attiecīgo momentu.
- 6) Teorētiskais aprēķins ir daudz darbietilpīgāks un mazāk precīzs, tāpēc lietderīgāk veikt praktiskos mērījumus uzgriežgrieža elektroenerģijas patēriņa noteikšanai.
- 7) Veicot nekustīgo vītņu savienojumu salikšanu, nostrādājot sprūdmehānismam, tiek patērēta papildus enerģija skrūvgrieža sajūgam pārvarot berzi. Atslēdzot strāvu (piem., papildinot skrūvgriezi-uzgriežgriezi ar momenta devēju, sasniedzot kuru elektromotors tiek atslēgts) ir iespējams samazināt enerģijas patēriņu.

LITERATŪRAS SARAKSTS

- 1) Кеpe О., Вйба J. *Теорētiskā mehānika*. - Rīga: Zvaigzne, 1982. - 577 lpp.
- 2) Туронкс F. *Маšину elementi: вйтņu savienojуму aprēķинс : mācību palīgгидзеклис*. - Rīga : RTU Izdevniecība, 2005. - 40 lpp.
- 3) Абрамов Н.В., Брюханов В.Н., Протопопов С.П. *Управление технологическими системами в машиностроении: Учебное пособие*. – Ижевск: ИжГТУ, 1995. - 305 с.
- 4) Березин С.Я., Чумаков Р.Е., Кулеш И.М. *Проектные и оптимизационно-моделирующие блоки в экспертной системе сборочно-резьбообразующих технологий // Тезисы докладов II Всероссийской научно-технической конференции (3-4 февраля 2000г.) Часть 4*. – Нижний Новгород, 2000. –40 с.
- 5) Березин С.Я. *Технико-экономический анализ сборочно-резьбообразующих операций // Технология, экономика, педагогика: Сб.науч. тр. Забайк. гос. пед. ун-та*. - Чита: ЗабГПУ. - 1998. - 106 - 110. с.
- 6) Галицков С.Я., Стариков А.В. *Процесс сборки резьбового соединения как объект управления // Идентификация и автоматизация технологических процессов в машиностроении: Сб. Науч. тр. - Куйбышев. КПИ. -1988. - 51 - 60 с.*

- 7) Душинский В.В., Пуховский Е.С., Радченко С.Г. Оптимизация технологических процессов в машиностроении. - Киев: Техника, 1977. - 176 с.
- 8) Завалий Ю.И. Оптимизация процессов свинчивания резьбовых деталей// Технология сборочных работ : Матер. семинара. - М. : МДНТП. 1989. - 68 – 75 с.
- 9) Пикапов Б.И. Неподвижные и тугие резьбовые соединения. - В кн. Исследование, конструирование и расчет резьбовых соединений. Тез. докл. Всесоюзн. конф.- Ульяновск, 1973. – 43.с.
- 10) BRUSH MOTORS: DC brush motor theory / Internets. - <http://www.potomacelectric.com/Downloads/Tutorials/BRUSH%20MOTORS/DC%20brush%20motor%20theory.pdf>
- 11) DC Motor / Internets. - <http://www.kettering.edu/acad/mechatronics/motor.pdf>
- 12) D.C. Motor Torque: Speed Curve Tutorial / Internets. - <http://lancet.mit.edu/motors/motors3.html>
- 13) Dr. Dušan Graovac, Marco Pürschel, Andreas Kiep: Mosfet Power Losses Calculation Using the Data-Sheet Parameters / Internets. - http://www.btipnow.com/library/white_papers/MOSFET%20Power%20Losses%20Calculation%20Using%20the%20Data-Sheet%20Parameters.pdf
- 14) FAULHABER: Motor Calculations/ Internets. - http://www.me.mtu.edu/~wjendres/ProductRealization1Course/DC_Motor_Calculations.pdf
- 15) General Model: The DC Motor model/ Internets. - http://www.20sim.com/webhelp/toolboxes/mechatronics_toolbox/servo_motor_editor/theory/torque_speed_plot/general_model.htm
- 16) MABUCHI MOTOR: Carbon-brush motors / Internets. – http://www.mabuchi-motor.co.jp/cgi-bin/catalog/e_catalog.cgi?CAT_ID=rs_755vcwc
- 17) MAXON MOTOR: maxon DC motor and maxon EC motor / Internets. - https://downloads.maxonmotor.com/Katalog_neu/eshop/Downloads/allgemeine_informationen/Das_wichtigste_ueber_maxon_motoren/newpdf_11/DC-Das-wichtigste-ueber-maxonmotoren_11_EN_036.pdf
- 18) MAXON: Motor equations / Internets. - http://www.electromate.com/db_support/attachments/Maxon%20Motor%20Useful%20Equations.pdf
- 19) MAXON MOTOR: PWM-Scheme and Current ripple of Switching Power Amplifiers / Internets. - http://www.electromate.com/db_support/attachments/PWM%20technical%20information.pdf
- 20) MECHATRONICS II LABORATORY: DC Motor Torque-Speed Curve / Internets. - <http://www.mech.utah.edu/~me3200/labs/torquespeed.pdf>
- 21) MICROMO: How to Select A DC Motor / Internets. – <http://www.micromo.com/how-to-select-a-dc-motor.aspx>
- 22) MICROMO: Motor Calculations/ Internets. - <http://www.micromo.com/motor-calculations.aspx>
- 23) National Instruments: DC Motor Calculations, part 1 / Internets. - <http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/46>
- 24) Reliance: Basic Motor Theory / Internets. – <http://www.reliance.com/mtr/mtrthrmn.htm>
- 25) Timothy L. O'Hearn, P.E.: Calculating Motor Start Time / Internets. - <http://image.sciencenet.cn/olddata/kexue.com.cn/bbs/upload/15714Calculating%20Motor%20Start%20Time.pdf>

- 26) West Chester University: Angular Kinematics/ Internets. -
<http://www.niiler.com/phy130/ps4.htm>
- 27) Wikipedia: Brushed DC electric motor / Internets. -
http://en.wikipedia.org/wiki/Brushed_DC_electric_motor
- 28) Wikipedia: Equations of motion / Internets. -
http://en.wikipedia.org/wiki/Equations_of_motion
- 29) Каталог электротехнической продукции TORUS: ЛЕКЦИЯ 19 / Internets. -
<http://www.normalizator.com/manuals/lessons/shishkin/lecture20.html>
- 30) Основные теоретические положения: ДПТ / Internets.
http://imed.narod.ru/el_mech/motor_dc.htm
- 31) Часть 5. Электромашинные устройства автоматики: Краткие сведения о машинах постоянного тока (МПТ) / Internets. –
<http://dl.sumdu.edu.ua/e-pub/EAUSU/5/gl5tel.htm>