

ISSN 1407-8015

RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES
ZINĀTNISKIE RAKSTI

SCIENTIFIC PROCEEDINGS
OF RIGA TECHNICAL UNIVERSITY

6. SĒRIJA

MAŠĪNZINĀTNE UN TRANSPORTS
TRANSPORT AND ENGINEERING

Dzelzceļa transports
Railway Transport

30. SĒJUMS

RTU IZDEVNIECĪBA

RĪGA 2008

THE TRACTION MOTOR STARTING DEVICE WITH SUPERCAPACITOR ENERGY SAVING DEVICE

VILCES DZINĒJA PALAIŠANAS IEKĀRTA AR SUPERKONDENSATORA ENERĢIJAS UZKRĀJĒJU

Viesturs Brazis, Dr.Sc.ing., Assistant Professor
Riga Technical University
Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives
Address: 1 Blvd. Kronvalda, Riga, LV 1048, Latvia
Phone:+371 67089915
E-mail: viesbraz@eef.rtu.lv

Janis Greivulis, Dr.habil.Sc.ing., Professor
Riga Technical University
Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives
Address: 1 Blvd.Kronvalda, Riga, LV 1048, Latvia
Phone:+371 67089915
E-mail: greivulis@eef.rtu.lv

Leonids Ribickis, Dr.habil.Sc.ing., Professor,
Riga Technical University
Institute of Industrial Electronics and Electrical Drives
Address: 1 Street Kalku, Riga, LV 1658, Latvia
Phone:+371 67089415
E-mail: leonids.ribickis@rtu.lv

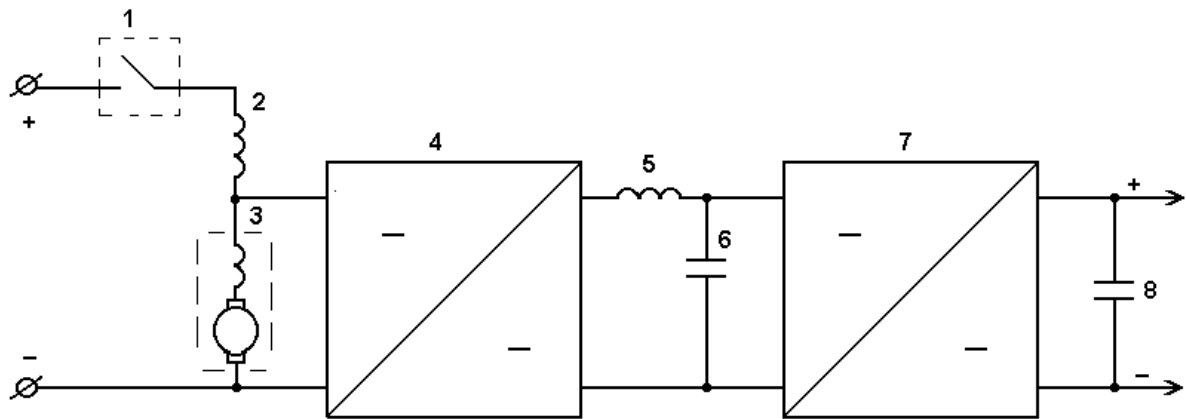
Atslēgas vārdi: balasta rezistors, vilces dzinējs, pārejas procesi, superkondensators

Ievads

Austrumeiropas un Baltijas valstīs turpinās liela skaita ar līdzstrāvas vilces dzinējiem aprīkottu tramvaju un elektrovilcienu ekspluatācija. Visās Baltijas valstu tramvaju sistēmās – Rīgā, Liepājā, Daugavpilī un Tallinā, kā arī Rīgas, Viļņas un Tallinas piepilsētas dzelzceļa mezglos pasažieru pārvadājumos 2008. gadā vēl joprojām vispār netiek izmantots ritošais sastāvs ar maiņstrāvas asinhronajiem un retāk sastopamajiem sinhronajiem ar pastāvīgajiem magnētiem vilces dzinējiem. Arī Austrumeiropā un pat vecajās ES valstīs joprojām tiek ekspluatēti daudzus desmitus gadus veci vagoni ar līdzstrāvas vilces piedziņu. Tam par cēloni ir liels ritošā sastāva mehāniskās daļas ekspluatācijas resurss, kas sliežu elektrotransportam vairumā gadījumu ir 30-50 gadu, un jaunu vagonu iegādes augstā cena ap 1 mlj. eiro par vagonu, kas daudziem transporta operatoriem stipri apgrūtina veco transportlīdzekļu nomaiņu pirms to fiziskās novecošanās beigām. Tāpēc, lai paildzinātu tramvaju vagonu ekspluatācijas laiku, tiek veikta to rekonstrukcija, kuras laikā vilces elektroiekārtas tiek nomainītas ar jaunākām un energoefektīvākām. Kaut gan vislielāko enerģijas ietaupījumu dotu līdzstrāvas piedziņas nomaiņa ar asinhrono, tomēr elektroiekārtas sadārdzinājums reti atpelnā sevi atlikušajos 10-20 vagona pēcrekonstrukcijas resursa gados, kas liek ierobežot pārbūvi ar reostatu un tiristoru vadības sistēmu nomaiņu ar tranzistoru iekārtām, saglabājot esošos līdzstrāvas vilces dzinējus [1]. Bieži vien nemainīta paliek arī līdzstrāvas dzinēju ierosmes vājināšanas shēma ar kontaktoriem. Šādā gadījumā tramvaja vagona bremsēšanas režīmā nav iespējams nodrošināt dzinēju pretēji vērsta elektrodzinējspēka nepieaugšanu virs tīkla sprieguma vērtības. Lai nodrošinātu stabilu impulsu pārveidotāja darbību vilces mašīnu ģeneratoru režīma laikā, to EDS samazināšanai pielieto balasta rezistoru, kurā tiek nelietderīgi dzēsta daļa no rekuperācijas enerģijas. Arī ātrgaitas maģistrālo dzelzceļu asinhrono vilces dzinēju sprieguma vērtības bremsēšanas laikā nepieļaujami pieaug, kas liek pielietot balasta rezistorus. Aktuāla ir arī jaudas patēriņa nevienmērības izlīdzināšanas problēma, jo palaišanas sākumposmā tramvaja dzinēji īslaicīgi patērē jaudu, kura ir divreiz lielāka par dzinēju ilgstošā režīma jaudu [1].

Palaišanas iekārta ar enerģijas uzkrājēju

Līdzstrāvas virknes ierosmes vilces dzinēju palaišanas zudumu samazināšanai izstrādāta jauna shēma (1. att.), pielietojot enerģijas superkondensatoru uzkrājējus [2], kas darbojas sekojoši. Dzinēja 3 ar virknes ierosmes tinumu 2 palaišanas procesā impulsregulatora vadāmā slēdža 1 darbība notiek ar impulsa platuma modulāciju.



1. att. Līdzstrāvas dzinēja palaišanas iekārta

Vienlaicīgi, lai stabilizētu dzinēja dinamiskā momenta lielumu, ar papildus vadāmo slēdzi 4 stabilizē dzinēja enkura spriegumu, regulējot pirmajam elektriskās enerģijas uzkrājēja starposma kondensatoram 6 caur filtra droseli 5 pievadītās enerģijas daudzumu. Tas ļauj samazināt patērēto elektrisko enerģiju palaišanas procesa laikā līdz nepieciešamās rotācijas frekvences sasniegšanai. Neatkarīgi no sprieguma svārstībām, starposma kondensatorā iekrāto elektrisko enerģiju ar līdzsprieguma pārveidotāja 7 palīdzību pievada otrajam elektriskās enerģijas uzkrāšanas kondensatoram 8, kas kalpo kā akumulators.

No dzinēja momenta izteiksmes

$$M_{din} - M_{st} = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1)$$

raksturlieknes linearizētajā daļā nosaka tā apgriezīgu izteiksmi

$$n = n_{st} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_M}} \right) + n_{sā} e^{-\frac{t}{T_M}}, \quad (2)$$

kur

$$T_M = \frac{GD^2 (R_a + R_p)}{375 c_e c_m \Phi_{dz}^2} \quad (3)$$

mehāniskā laika konstante.

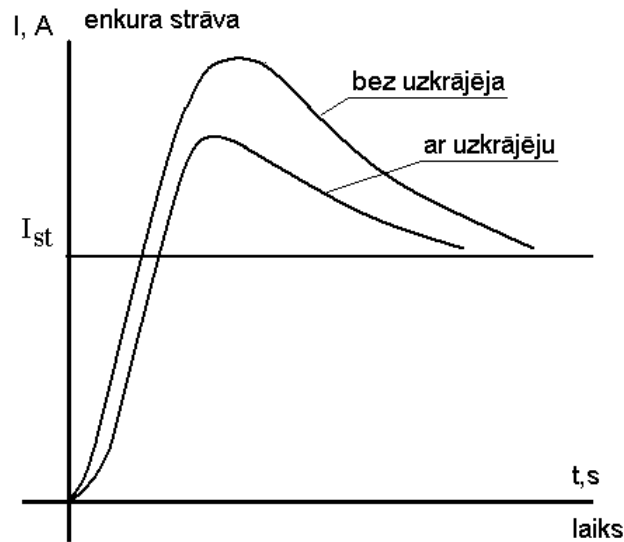
No šejienes redzams, ka dzinēja apgriezīgu pārejas procesa laikā var ietekmēt, mainot papildpretestības R_p lielumu, tomēr sprieguma kritums reostatos izsauc lielus enerģijas zudumus [3].

Aizvietojojot šo pretestību ar kondensatoru uzkrājēju, iepriekš rezistoram pieliktais sprieguma kritums ir pievadāms superkondensatoru baterijai, kas ļauj uzkrāt enerģiju, kuras daudzumu nosaka no izteiksmes

$$\Delta A = \int_0^{t_{pal}} I_{pal}^2 (R_a + R_p) dt, \quad (4)$$

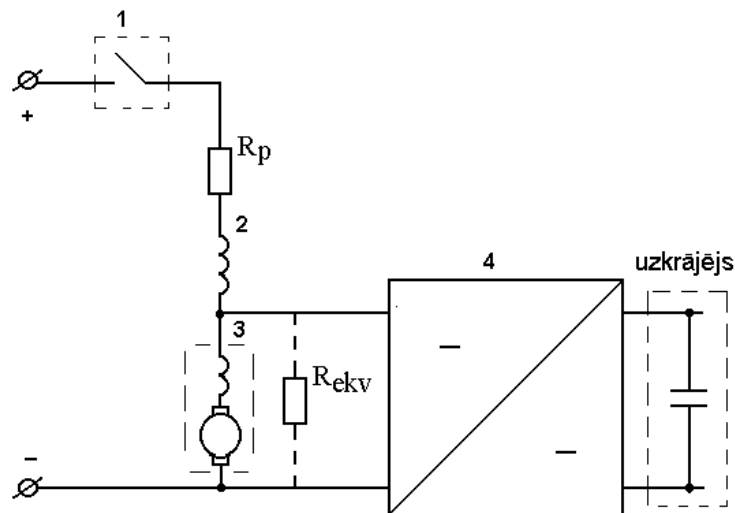
kur, $R_a = r_a + r_{pp}$ - enkura pretestība, ko nosaka enkura tinuma un papildpolu pretestību summa.

Elektromehāniskā pārejas procesa raksturs parādīts 2. att., līkne 1 atbilst darba režīmam bez enerģijas uzkrājēja, līkne 2 - ar superkondensatoru enerģijas uzkrājēju.



2. att. Elektromehāniskais pārejas process

Shēma ar enerģijas uzkrājēju iekārtu nodrošina enkura ķēdes šuntēšanu (3. att.), ierobežojot dzinēja palaišanas momentu, kas samazina mehāniskā spēka pārvada nodilumu [4]. Šādu regulēšanu veikt ar aktīvās šuntēšanas pretestības R_{ekv} un papildpretestības R_p palīdzību būtu neekonomiski.

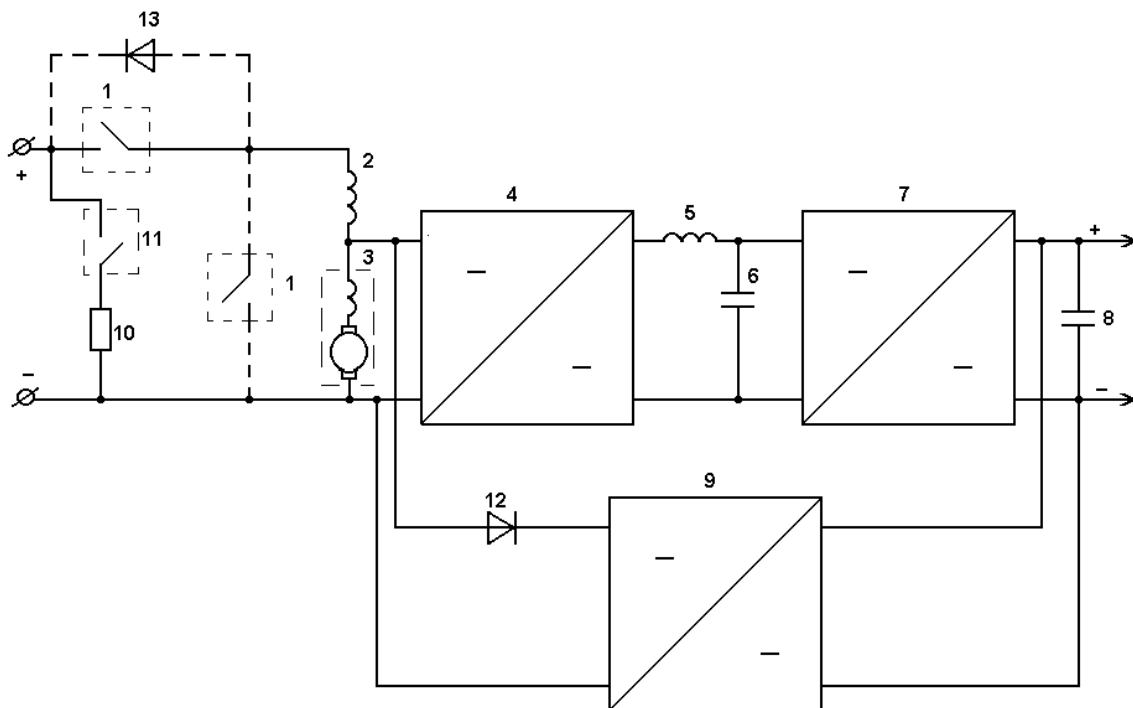


3. att. Dzinēja regulēšanas ekvivalentā shēma

Bremzēšanas shēma ar enerģijas uzkrājēju

Pieslēdzot dzinēja enkura tinumu superkondensatoru uzkrājējam elektrodinamiskās bremzēšanas laikā, ģenerators spriegumu iespējams ierobežot bez papildus balasta rezistora enkura ķēdē, lai paaugstinošā impulsu pārveidotāja stabilas darbības nodrošināšanai tā ieejas spriegums būtu zemāks par

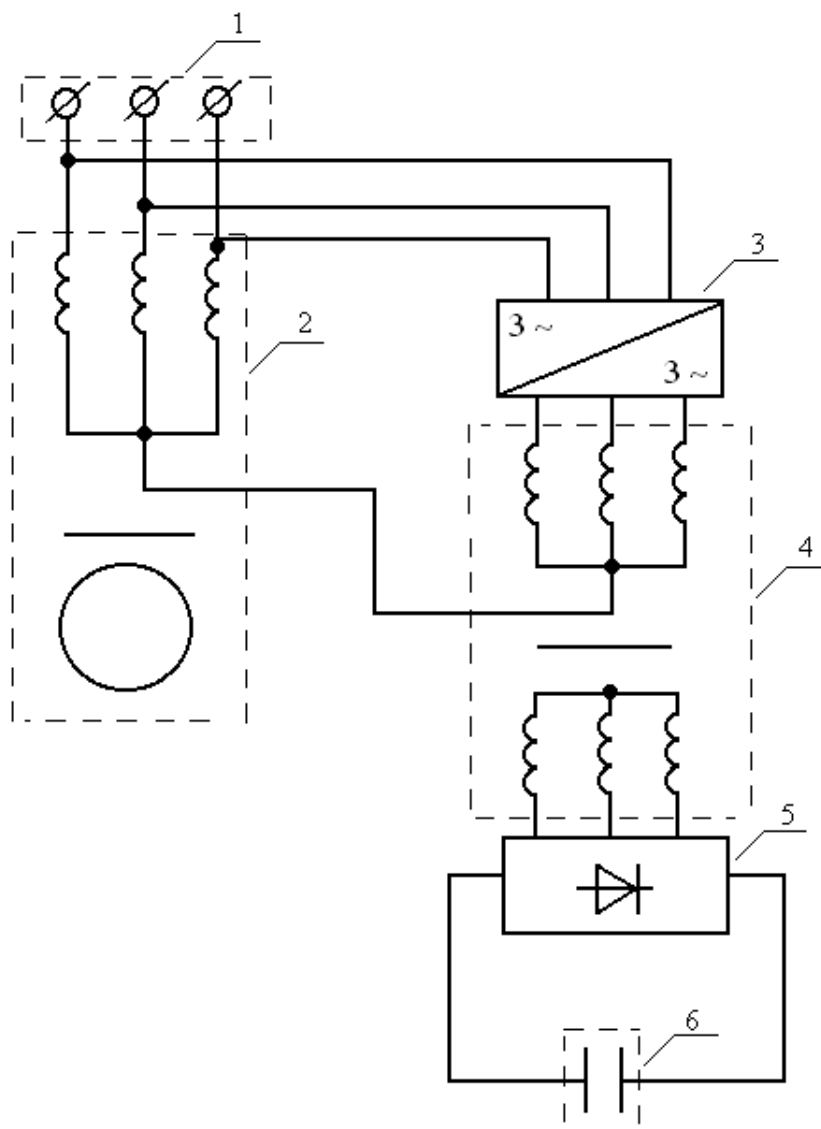
kontakttīkla sprieguma vērtību. Šim nolūkam 1. att. parādītā shēma papildināta ar bremsēšanas reostatu 10 un tā elektronisko slēdzi 11, bremsēšanas paaugstinošā pārveidotāja diodi 13 un papildus pārveidotāju 9 ar diodi 12.



4. att. Līdzstrāvas dzinēja regulēšanas iekārta palaišanas un bremsēšanas režīmos

Mainoties dzinēja momentam, gan dzinēja, gan dinamiskā bremsēšanas režīmā ar papildus vadāmo slēdzi 4 komutē LC-kontūru, iekrājot elektrisko enerģiju starposma kondensatorā 6. Tas dod iespēju šo iekrāto elektrisko enerģiju neatkarīgi no sprieguma svārstībām uz kondensatora 6 nodot uzkrāšanas kondensatoram 8. Bremsēšanas režīmā, impulsvadītāja slēdzis 1 atvieno dzinēju no tīkla un kopā ar diodi 13 strādā kā spriegumu paaugstinošais pārveidotājs, kā shēmā (4. att.) parādīts ar raustītu līniju. Tiek ieslēgts bremsēšanas režīma vadāmais slēdzis 11, daļa no dzinēja elektriskās enerģijas tiek izkliedēta jaudīgā rezistorā 10 un dzinēja aktīvās pretestībās, bet daļa nodota elektriskās enerģijas uzkrāšanas kondensatoram 8 caur bremsēšanas režīma pārveidotāju 9.

Asinhronā dzinēja mehānisko pārejas procesu vadībai pārejas procesu laikā izveidota jauna shēma (5. att.) ar superkondensatoru uzkrājēju [5]. Šajā shēmā barošanas avotam 1 pievienoti asinhronā dzinēja 2 statora tinumi un trīsfāžu regulators 3, kura izejā ieslēgti trīsfāžu transformatora 4 primārie tinumi, kuru nullpunkts savienots ar asinhronā dzinēja 2 statora tinumu nullpunktu. Trīsfāžu transformatora 4 sekundārajiem tinumiem, kas veido zvaigznes slēgumu, pievienots trīsfāžu taisngriezis 5, kura izejā ieslēgts superkondensatoru uzkrājēja kondensators 6. Mehānisko pārejas procesu laikā, kad dzinēja moments ir mainīgs, ar trīsfāžu regulatoru 3 pieslēdz trīsfāžu transformatora 4 primāros tinumus pēc uzdotā regulēšanas likuma paralēli asinhronā dzinēja 2 statora tinumiem. Tas dod iespēju mainīt asinhronā dzinēja mehānisko laika konstanti un mehāniskā pārejas procesa raksturu. Elektriskā enerģija, kas plūst caur transformatoru 4, ar trīsfāžu taisngrieža 5 palīdzību tiek nodota elektriskās enerģijas uzkrāšanas kondensatoram 6.



5. att. Asinhronā elektriskā piedziņa ar enerģijas uzkrājēju

Slēdziens

Tehniskie risinājumi dod iespēju taupīt līdzstrāvas dzinēja elektrisko enerģiju ar superkondensatoru baterijas palīdzību. Dotajās shēmās izveidots enerģijas uzkrāšanas kontūrs ar līdzsprieguma impulsu pārveidotājiem. Ietaupīto enerģiju aprēķina no ekvivalentās shēmas. Mainot shēmas ekvivalento pretestību vērtības, mainās mehāniskās laika konstantes, palielinot vai samazinot pārejas procesu laiku. Ietaupītos zudumus vienkāršotā veidā nepieciešams rēķināt grafoanalītiski, ievērojot šuntēšanas efektu. Asinhronajam dzinējam ar enerģijas uzkrājēju panāktas statora strāvas lieluma regulēšanas iespējas pārejas procesa laikā.

Literatūra

1. Joller J. Research of trams traction drives// Baltic Electrical Engineering Review. Vilnius.: 1(7)'98, p. 17-20.

2. Greivulis J., Bražis V. Patenta pieteikums P-07-54. "Līdzstrāvas virknes ierosmes dzinēja palaišanas iekārta.", Rīga, 2007.
3. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. - Москва-Ленинград: Госэнергоиздат, 1963. – с.772.
4. Greivulis J., Bražis V. Patenta pieteikums P-07-62. "Līdzstrāvas virknes ierosmes dzinēja regulēšanas iekārta.", Rīga, 2007.
5. Greivulis J., Bražis V., Doniņš J. Patenta pieteikums P-08-10. "Asinhronā elektriskā piedziņa ar enerģijas uzkrājēju.", Rīga, 2008.

Bražis V., Greivulis J., Ribickis L. Vilces dzinēja palaišanas iekārta ar superkondensatora enerģijas uzkrājēju

Apskatīta aktuāla tēma par ekspluatējamo līdzstrāvas vilces piedziņas energoefektivitātes uzlabošanu. Izstrādātas atsevišķas shēmas līdzstrāvas dzinēja palaišanas un bremzēšanas režīmiem, izmantojot superkondensatoru enerģijas uzkrājējus dzinēja enkura šuntēšanai. Palaišanas iekārta ļauj samazināt dzinēja momenta rāvienus pārejas procesa sākumā, nodrošinot patērētās enerģijas un piedziņas sistēmas mehāniskā nodiluma samazināšanu. Dota ietaupītās enerģijas aprēķina ekvivalentā shēma un izteiksme. Mainot aizvietošanas shēmas ekvivalentās šuntēšanas un balasta pretestību vērtības, mainās mehāniskās laika konstantes, paātrinot pārejas procesu. Izveidotā līdzstrāvas dzinēja regulēšanas iekārta ar superkondensatoru bateriju ļauj atteikties no balasta rezistora izmantošanas, tā samazinot patērētās enerģijas daudzumu, jo bremzēšanas režīmā paralēli elektrodinamiskajai bremzēšanai tiek veikta līdzsprieguma dzinēja enkura šuntēšana ar kondensatoru uzkrājēja palīdzību, kas samazina enkura spriegumu, nodrošinot stabilu paaugstinotā pārveidotāja darbību. Bremzēšanas shēma ar diviem pārveidotājiem veic filtra kondensatorā iekrātās enerģijas pārvadīšanu superkondensatoru uzkrājējam neatkarīgi no filtra kondensatora sprieguma svārstību līmeņa. Jaunajai iekārtai ir augstāks lietderības koeficients. Asinhronā dzinēja šuntēšana ar autotransformatoru pārejas procesa laikā dod iespēju daļu no pārejas procesa enerģijas uzkrāt superkondensatorā.

Bražis V., Greivulis J., Ribickis L. The traction motor starting device with supercapacitor energy saving device

The article looks on actual theme about improving of energetic efficiency of exluatated DC traction drives. There are developed the separate schemes for DC motor starting and braking regimes by using the supercapacitor energy saving devices for motor armature shunting. The starting device allows to decrease the motor torque jerks at the beginning of transient process thus providing the elimination of consumed energy and drive system mechanical wear. There is given the saved energy calculating equivalent circuit and expression. By varying the substitution scheme shunting and ballast resistance values, the mechanical time constant changes

with increasing the speed of transient processes. The estimated DC motor control device with supercapacitor battery allows to eliminate the need for ballast resistor. The decreasing of consumed energy is achieved in such way because the electrodynamic braking has realized simultaneously with shunting of DC motor armature with the help of capacitor energy saver which decreases the armature voltage to provide the stable boost converter operation. The braking scheme with two converters transfers the energy saved in the filter capacitor to the supercapacitor energy saver independently from the filter capacitor voltage oscillation value. The new device has higher efficiency factor. The induction motor bypassing by autotransformer during transient processes lets to save part of the transient process energy in supercapacitor storage device.

Бражис В., Грейвулис Я., Рибицкис Л. Устройство пуска тягового двигателя с суперконденсаторным накопителем

Рассмотрена актуальная тема повышения энергоэффективности эксплуатируемых тяговых электроприводов постоянного тока. Разработаны отдельные схемы для режимов пуска и торможения двигателей постоянного тока с использованием суперконденсаторных накопителей энергии для шунтирования якорей двигателей. Пусковое устройство позволяет снизить рывки момента двигателя в начале переходного процесса, обеспечивая снижение потребляемой энергии и механического износа системы привода. Дана расчетная эквивалентная схема и выражение сэкономленной энергии. При изменении значений эквивалентного шунтового и балластного сопротивлений схемы замещения меняются механические постоянные времени, тем самым ускоряется переходный процесс. Разработанное устройство регулирования двигателя постоянного тока со суперконденсаторной батареей позволяет отказаться от использования балластного резистора, таким образом снижая количество потребленной энергии, потому что в режиме торможения параллельно электродинамическому торможению происходит шунтирование якоря двигателя постоянного тока с помощью суперконденсаторного накопителя, который понижает якорное напряжение, обеспечивая устойчивую работу повышающего преобразователя. Тормозная схема с двумя преобразователями производит передачу накопленной в фильтровом конденсаторе энергии на суперконденсаторный накопитель независимо от уровня колебаний напряжения на конденсаторе фильтра. Новое устройство имеет более высокий коэффициент полезного действия. Шунтирование асинхронного двигателя с помощью автотрансформатора во время переходного процесса позволяет накопить в суперконденсаторе часть энергии переходного процесса.