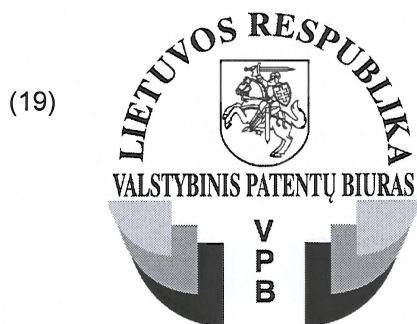




(10) **LT 5637 B**

(12) **PATENTO APRAŠYMAS**

(11) Patent numeris: **5637** (51) Int. Cl. (2006): **G01F 1/00**

(21) Paraiškos numeris: **2008 025**

(22) Paraiškos padavimo data: **2008 03 21**

(41) Paraiškos paskelbimo data: **2009 09 25**

(45) Patent paskelbimo data: **2010 02 25**

(62) Paraiškos, iš kurios dokumentas išskirtas, numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos numeris: —

(86) Tarptautinės paraiškos padavimo data: —

(85) Nacionalinio PCT lygio procedūros pradžios data: —

(30) Prioritetas: —

(72) Išradėjas:

Juozapas Arvydas VIRBALIS, LT
Romualdas VAIKASAS, LT
Robertas KATUTIS, LT

(73) Patent savininkas:

Kauno technologijos universitetas, K. Donelaičio g. 73, LT-44249 Kaunas, LT

(74) Patentinis patikėtinis/atstovas:

Aldona ORLIENĖ, Kęstučio g. 59-11, LT-44303 Kaunas, LT

(54) Pavadinimas:

Elektromagnetinis srauto matuoklis

(57) Referatas:

Išradimas skirtas tekančių skysčių srauto kiekybinių charakteristikų (srauto dydžio, tūrio, masės ir pan.) matavimui elektromagnetiniu būdu. Siūlomo išradimo tikslas - elektromagnetinio srauto matuoklio sunaudojamos energijos minimizavimas ir funkcinių galimybių praplėtimas. Šis tikslas pasiekiamas į elektromagnetinį srauto matuoklį, kuriame yra matavimo kanalas (1), sudarytas iš nemagnetinės medžiagos vamzdžio su vidine izoliacija ir sienelėse įrengtais diametraliai priešingai vienas kitam dviems elektrodais, srovės šaltinis (2), pirmoji ir antroji (4) ritės, formuojančios magnetinį lauką, statmeną vamzdžio ašiai ir tiesei, jungiančiai elektrodų centrus, atraminis varžas (5), pirmasis (6) ir antrasis (7) diferencialiniai stiprintuvai, procesorius (8), pirmasis (9) ir antrasis (10) jungikliai, analoginis skaitmeninis keitiklis (12) ir komparatorius (11), papildomai įjungus elektrinį kondensatorių (13) ir ribojantįjį varžą (14), o taip pat naudojant keturių polių jungiklius (9, 10).

Išradimas skirtas tekančio uždaruose vamzdžiuose skysčio srauto kiekybinių charakteristikų (srauto dydžio, pratekėjusio tūrio arba masės ir pan.) matavimui elektromagnetiniu būdu ir gali būti naudojamas autonominio maitinimo prietaisuose.

Žinomas elektromagnetinis srauto matuoklis, kuriame yra matavimo kanalas, sudarytas iš nemagnetinės medžiagos vamzdžio su vidine izoliacija, valdymo schema, faktiškai esanti žadinimo srovės šaltiniu, tarp kurio išėjimo ir bendrojo matuoklio taško nuosekliai įjungtos pirmoji ir antroji ritės, formuojančios statmeną vamzdžio ašiai magnetinį lauką, bei atraminis varžas. Matavimo kanalo sienelėse įrengti du elektrodai taip, kad juos jungianti linija būtų statmena vamzdžio ašiai ir magnetinio lauko kryptčiai. Elektrodai prijungti prie diferencialinio stiprintuvo įėjimo, sujungto su integruojančiuoju analoginiu skaitmeniniu keitikliu. Pastarojo išėjimas prijungtas prie procesoriaus įėjimo, savo išėjimais sujungto su žadinimo srovės šaltinio įėjimu, analoginio skaitmeninio keitiklio valdymo įėjimų grupe ir indikacijos įrenginio įėjimais [Europos patentas EP Nr.0521169, G01F 1/60, 1993].

Toks srauto matuoklis turi trūkumų, nes norint gauti pakankami tikslų matavimą jame sunaudojama didelė žadinimo srovės šaltinio galia. Jo funkcinės galimybės ribotos, nes negalima įrengti autonominio maitinimo.

Siūlomo išradimo prototipas (Lietuvos patentas Nr.5419, G01F 1/00, 2007.05.25) yra elektromagnetinis srauto matuoklis, kuriame yra matavimo kanalas, sudarytas iš nemagnetinės medžiagos vamzdžio su vidine izoliacija ir sienelėse įrengtais diametraliai priešingai vienas kitam dviems elektrodais, srovės šaltinis, pirmoji ir antroji ritės, atraminis varžas, pirmasis ir antrasis diferencialiniai stiprintuvai, procesorius, indikacijos įrenginys, atminties įrenginys, pirmasis, antrasis trečiasis ketvirtasis ir penktasis tripoliai jungikliai, valdymo impulsų formuotuvai ir pirmasis analoginis skaitmeninis keitiklis, kurio informaciniai išėjimai prijungti prie procesoriaus pirmosios informacinių išvadų grupės, valdymo įėjimų grupė sujungta su procesoriaus pirmąja valdymo išvadų grupe, antroji ir trečioji procesoriaus informacinių išvadų grupės – su, atitinkamai, indikacijos įrenginio ir atminties įrenginio informaciniais išvadais, be to, pirmasis pirmosios žadinimo ritės išvadas sujungtas su srovės šaltinio išėjimu, antrasis –

su pirmuoju antrosios ritės išvadu, antrasis antrosios ritės išvadas su pirmuoju atraminio varžo išvadu, kurio antrasis išvadas sujungtas su bendruoju matavimo grandinės tašku, pirmojo, antrojo trečiojo, ketvirtojo ir penktojo tripolių jungiklių valdymo įėjimai sujungti su atitinkamai, pirmuoju, antruoju, trečiuoju, ketvirtuoju ir penktuoju procesoriaus antrosios valdymo išvadų grupės išėjimais, papildomai įjungti stabilios įtampos šaltinis, komparatorius, antrasis analoginis skaitmeninis keitiklis, skaitmeninis analoginis keitiklis, stabilaus dažnio impulsų generatorius, impulsų skaitiklis, pirmasis dvipolis jungiklis, o taip pat integratorius ir antrasis dvipolis jungiklis, kurie kartu su ketvirtuoju ir penktuoju tripoliais jungikliais ir antruoju diferencialiniu stiprintuvu įjungti į valdymo impulsų formuotuvo schemą, be to, pirmasis ir antrasis elektrodai sujungti su pirmuoju ir antruoju pirmojo diferencialinio stiprintuvo įėjimu, kurio išėjimas sujungtas su pirmojo analoginio skaitmeninio keitiklio informaciniu įėjimu, o su bendruoju antrosios žadinimo ritės ir atraminio varžo tašku sujungtas antrojo diferencialinio stiprintuvo pirmasis įėjimas, kurio išėjimas sujungtas su srovės šaltinio įėjimu, o antrasis įėjimas su ketvirtojo tripolio jungiklio trečiuoju poliumi, kurio antrasis polius su trečiuoju penktojo tripolio jungiklio poliumi, antruoju poliumi sujungto su bendruoju grandinės tašku, o pirmuoju poliumi su stabilios įtampos šaltinio išėjimu kartu su pirmojo tripolio jungiklio pirmuoju poliumi, kurio antrasis polius sujungtas su bendruoju grandinės tašku, o trečiasis polius – su integratoriaus įėjimu, kurio išėjimas prijungtas prie ketvirtojo tripolio jungiklio pirmojo poliaus kartu su pirmuoju antrojo tripolio jungiklio poliumi, kurio antrasis polius prijungtas prie srovės šaltinio, o trečiasis polius - prie komparatoriaus pirmojo įėjimo, išėjimu sujungto su procesoriaus valdymo įėjimu, antrojo analoginio skaitmeninio keitiklio įėjimas prijungtas prie srovės šaltinio išėjimo, o informacinių išėjimų grupė - prie procesoriaus ketvirtosios informacinių išvadų grupės, procesoriaus antrosios valdymo išvadų grupės šeštasis ir septintasis išėjimai sujungti su pirmojo ir antrojo dvipolių jungiklių valdymo įėjimais, penktoji informacinių išvadų grupė sujungta su skaitmeninio analoginio keitiklio informacinių įėjimų grupe, kurio išėjimas sujungtas su trečiojo tripolio jungiklio pirmuoju poliumi, antruoju poliumi sujungto su stabilios įtampos šaltinio išėjimu, o trečiuoju poliumi – su komparatoriaus antruoju įėjimu, integratoriaus grįžtamojo ryšio grandinė sujungta su antrojo dvipolio jungiklio pirmuoju ir antruoju poliumi, be to šeštoji procesoriaus

informacinių išvadų grupė sujungta su impulsų skaitiklio informaciniais išvadais, kurio įėjimas per pirmąjį dvipolį jungiklį prijungtas prie stabilaus dažnio impulsų generatoriaus išėjimo, o įnulinimo išvadas – prie procesoriaus antrosios valdymo išvadų grupės aštuntojo išėjimo.

Prototipu pasirinktame srauto matuoklyje taip pat sunaudojama pakankamai didelė žadinimo srovės šaltinio galia. Nutraukus žadinimo srovės padavimą dėl sukauptos magnetinio lauko energijos žadinimo srovės grandinėje gaunami parazitiniai srovės impulsai, kuriems esant irgi eikvojama energija. Taigi autonominių maitinimą jame įrengti negalima.

Siūlomo išradimo tikslas yra elektromagnetinio srauto matuoklio sunaudojamos iš šaltinio energijos mažinimas esant tam pačiam matavimo tikslumui ir funkcinių galimybių praplėtimas.

Šis tikslas siūlomame išradime pasiekiamas taip. Elektromagnetiniame srauto matuoklyje, kuriame yra matavimo kanalas, sudarytas iš nemagnetinės medžiagos vamzdžio su vidine izoliacija ir sienelėse įrengtais diametraliai priešingai vienas kitam dviems elektrodais, srovės šaltinis, pirmoji ir antroji ritės, atraminis varžas, pirmasis ir antrasis diferencialiniai stiprintuvai, procesorius, pirmasis ir antrasis jungikliai, komparatorius, išėjimu sujungtas su procesoriaus valdymo įėjimu, ir analoginis skaitmeninis keitiklis, savo informaciniais išėjimais ir valdymo įėjimais prijungti prie procesoriaus, atitinkamai informacinių įėjimų ir pirmosios valdymo išėjimų grupės, be to, pirmasis ir antrasis elektrodai sujungti su pirmuoju ir antruoju pirmojo diferencialinio stiprintuvo įėjimais, kurio išėjimas sujungtas su analoginio skaitmeninio keitiklio pirmuoju įėjimu, antrasis pirmosios žadinimo ritės išvadas sujungtas su pirmuoju antrosios ritės išvadu, antrasis antrosios ritės išvadas su pirmuoju atraminio varžo išvadu ir antrojo diferencialinio stiprintuvo pirmuoju įėjimu, atraminio varžo antrasis išvadas sujungtas su bendruoju matavimo grandinės tašku, pirmojo ir antrojo jungiklių valdymo įėjimai sujungti su atitinkamai, pirmuoju ir antruoju procesoriaus antrosios valdymo išvadų grupės išėjimais, papildomai įjungti elektrinis kondensatorius ir ribojantysis varžas, analoginio skaitmeninio keitiklio antrasis įėjimas kartu su komparatoriaus pirmuoju įėjimu prijungtas prie antrojo diferencialinio stiprintuvo išėjimo, kurio antrasis įėjimas sujungtas su antruoju atraminio varžo išvadu,

komparatorius antruoju įėjimu prijungtas prie bendrojo grandinės taško, be to, pirmasis ir antrasis jungikliai turi po keturis polius, jų pirmieji poliai sujungti su kondensatoriaus, atitinkamai, pirmuoju ir antruoju išvadais, antrasis pirmojo jungiklio polius sujungtas su pirmuoju srovės šaltinio išvadu, trečiasis polius – su bendruoju grandinės tašku, o ketvirtasis – su antruoju ribojančiojo varžo išvadu, kurio pirmasis išvadas sujungtas su antruoju srovės šaltinio išvadu, o antrojo jungiklio antrasis polius sujungtas su antruoju ribojančiojo varžo išvadu, trečiasis polius – su pirmosios žadinimo ritės pirmuoju išvadu, o ketvirtasis polius – su pirmuoju srovės šaltinio išvadu.

Siūlomas išradimas leidžia minimizuoti sunaudojamą iš šaltinio energiją. Šaltinio energija perduodama kondensatoriui ir sukaupiama, kaip jo elektrinio lauko energija. Kondensatorių prijungus prie žadinimo ričių ir atraminio varžo nuoseklaus jungimo vyksta periodinis pereinamasis procesas – kondensatoriaus elektrinio lauko energija virsta ričių magnetinio lauko energija ir atvirkščiai. Nutraukus šį procesą tada, kai srovė grandinėje lygi nuliui, pavyksta išvengti parazitinių srovės impulsų, taigi ir minimizuoti energijos sąnaudas.

Elektromagnetinio srauto matuoklio blokinė schema parodyta brėžinyje.

Elektromagnetinis srauto matuoklis turi matavimo kanalą 1, sudarytą iš nemagnetinės medžiagos vamzdžio su vidine izoliacija ir sienelėse įrengtais diametraliai priešingai vienas kitam dviems elektrodais, srovės šaltinį 2, pirmąją 3 ir antrąją 4 rites, atraminį varžą 5, pirmąją 6 ir antrąją 7 diferencialinius stiprintuvus, procesorių 8, pirmąją 9 ir antrąją 10 jungiklius, komparatorių 11, analoginį skaitmeninį keitiklį 12, elektrinį kondensatorių 13 ir ribojantįjį varžą 14. Komparatorius 11 išėjimu sujungtas su procesoriaus 8 valdymo įėjimu, analoginis skaitmeninis keitiklis 12 savo informaciniais išėjimais ir valdymo įėjimais prijungti prie procesoriaus 8, atitinkamai, informacinių įėjimų ir pirmosios valdymo išėjimų grupės, be to, pirmasis ir antrasis matavimo kanalo 1 elektrodai sujungti su pirmuoju ir antruoju pirmojo diferencialinio stiprintuvo 6 įėjimais, kurio išėjimas sujungtas su analoginio skaitmeninio keitiklio 12 pirmuoju įėjimu, antrasis pirmosios žadinimo ritės 3 išvadas su pirmuoju antrosios ritės 4 išvadu, antrasis antrosios ritės 4 išvadas su pirmuoju atraminio varžo 5 išvadu, kurio antrasis išvadas sujungtas su bendruoju matavimo grandinės tašku, pirmojo 9 ir antrojo 10 jungiklių valdymo įėjimai sujungti su atitinkamai, pirmuoju ir antruoju procesoriaus 7

antrosios valdymo išvadų grupės išėjimais, analoginio skaitmeninio keitiklio 12 antrasis įėjimas kartu su komparatoriaus 11 pirmuoju įėjimu prijungtas prie antrojo diferencialinio stiprintuvo 7 išėjimo, kurio pirmasis ir antrasis įėjimai sujungti, atitinkamai, su pirmuoju ir antruoju atraminio varžo 5 išvadais, komparatorius 11 antruoju įėjimu prijungtas prie bendrojo grandinės taško, be to, pirmasis 9 ir antrasis 10 jungikliai turi po keturis polius, jų pirmieji poliai sujungti su kondensatoriaus 13, atitinkamai, pirmuoju ir antruoju išvadais, antrasis pirmojo jungiklio 9 polius sujungtas su pirmuoju srovės šaltinio 2 išvadu, trečiasis polius – su bendroju grandinės tašku, o ketvirtasis – su antruoju ribojančiojo varžo 14 išvadu, kurio pirmasis išvadas sujungtas su antruoju srovės šaltinio 2 išvadu, o antrojo jungiklio 10 antrasis polius sujungtas su antruoju ribojančiojo varžo 14 išvadu, trečiasis polius – su pirmosios žadinimo ritės 3 pirmuoju išvadu, o ketvirtasis polius – su pirmuoju srovės šaltinio 2 išvadu.

Elektromagnetinio srauto matuoklio darbą valdo procesorius 7. Vienas matuoklio darbo periodas susideda iš keturių ciklų: pirmojo, antrojo, trečiojo ir ketvirtojo. Pirmajame cikle tarpusavyje sujungti pirmojo 9 ir antrojo 10 jungiklių pirmieji ir antrieji poliai. Vyksta kondensatoriaus 13 krovimas iš srovės šaltinio 2, kai kondensatoriaus pirmasis išvadas sujungtas su ribojančiojo varžo 14 antruoju išvadu, o antrasis išvadas – su srovės šaltinio antruoju išvadu. Kondensatorius užkraunamas iki šaltinio įtampos E . Antrajame cikle tarpusavyje sujungiami pirmojo ir antrojo jungiklių pirmieji ir tretieji poliai. Prasideda kondensatoriaus iškrova per žadinimo ričių ir atraminio varžo nuoseklų jungimą. Vyksta pereinamasis procesas RLC grandinėje. Suminė šios grandinės varža sudaryta iš abiejų ričių varžų R_{r1} ir R_{r2} bei atraminio varžo varžos R_a . Šios RLC grandinės elementai turi būti parinkti taip, kad varžų suma $R = R_{r1} + R_{r2} + R_a$ būtų mažesnė už kritinę $R_k = \sqrt{\frac{L}{C}}$. Tokiu atveju grandinės pereinamasis procesas bus periodinis. Srovė pradeda keistis pagal sinuso dėsnį, iš pradžių savo absoliutiniu dydžiu augdama, o po to mažėdama. Kai srovė sumažėja iki nulio, antrojo diferencialinio stiprintuvo 7 išėjime įtampa taip pat sumažėja iki nulio ir paveikia komparatorius 11. Komparatoriaus išėjimo signalas patenka į procesorių 8 ir procesorius suformuoja 9 ir 10 jungiklių valdymo signalus. 9 ir 10 jungiklių pirmieji poliai sujungiami su ketvirtaisiais poliais. Prasideda trečiasis ciklas: kondensatorius vėl

kraunamas, tačiau priešinga kryptimi. Šiame cikle kondensatorius užkraunamas iki įtampos $-E$. Ketvirtajame cikle vėl sujungiami 9 ir 10 jungiklių pirmieji ir tretieji poliai. Prasideda iškrova priešinga kryptimi ir suformuojamas priešingo ženklo pusės sinusoidės impulsas. Šiam impulsui po pasiekto maksimumo pereinant per nulį antrojo diferencialinio stiprintuvo 7 išėjime įtampa taip pat sumažėja iki nulio ir vėl paveikia komparatorius 10. Komparatoriaus išėjimo signalas patekęs į procesorių suformuoja procesoriaus valdymo išėjimuose signalus, kurie 8 ir 9 jungikliuose sujungia pirmuosius ir antruosius polius. Prasideda kito periodo pirmasis ciklas.

Srauto matavimas vyksta antrajame ir ketvirtajame kiekvieno matavimo periodo cikluose, matuojant matavimo kanalo 1 elektrodų signalą e ir atraminio varžo įtampą U_a . Matavimo kanalo elektroduose, i -tojo matavimo metu veikiant magnetiniam laukui, kurio srauto tankis lygus B_i , ir esant skysčio srautui Q_i gaunamas signalas $e_i = K_m B_i Q_i$ (K_m – proporcingumo koeficientas, priklausantis nuo matavimo kanalo ir magnetinio lauko induktoriaus geometrijos). Šį signalą sustiprinus pirmajame diferencialiniame stiprintuve (jo stiprinimo koeficientas K_{d1}) jis paduodamas į analoginį skaitmeninį keitiklį (jo perdavimo koeficientas K_{ASK}), kurio išėjime gauname skaičių $N_{ei} = K_{ASK} K_m K_{d1} B_i Q_i$. Iš karto po šio signalo matavimo turi būti išmatuota įtampa veikianti varžę R_a : $u_{ai} = R_a I_{zi}$, (I_{zi} – magnetinio lauko žadinimo srovė). Ši įtampa perduodama į antrąjį analoginio skaitmeninio keitiklio 12 įėjimą per antrąjį diferencialinį stiprintuvą 7, kurio stiprinimo koeficientas yra K_{d2} . Analoginio skaitmeninio keitiklio 12 išėjime gausime skaičių $N_{ai} = K_{ASK} K_{d2} R_a I_{zi}$. Magnetinio srauto tankis B_i matavimo kanale yra proporcingas žadinimo srovei: $B_i = K_B I_{zi}$ (K_B – proporcingumo koeficientas). Tai įvertinę, matome, kad skaičius N_{ai} yra proporcingas magnetinio srauto tankiui matavimo metu: $N_{ai} = (K_{ASK} K_{d2} R_a / K_B) B_i$. Naudojant pakankamai greitaeigį analoginį skaitmeninį keitiklį galime laikyti, kad per šiuos du matavimus magnetinio srauto tankis praktiškai nepakito. Po šių dviejų matavimų procesoriuje suformuojamas skaičius N_{Qi} proporcingas skaičių N_{ei} ir N_{ai} santykiui: $N_{Qi} = N_{ei} / N_{ai} = (K_m K_{d1} K_B / K_{d2} R_a) Q_i$. Šis santykis proporcingas tik skysčio srautui Q_i matavimo metu, nes koeficientas $K_0 = K_m K_{d1} K_B / K_{d2} R_a = \text{const}$ yra pastovus dydis, priklausantis nuo matavimo kanalo ir magnetinio lauko induktoriaus konstrukcijos,

stiprintuvų 6 ir 7 parametrų ir varžo 5 varžos dydžio. Jis gaunamas kalibravimo metu. Trukdžius, atsirandančius matavimo metu, galime nuslopinti atlikę kiekvieno matavimo metu po M signalų e_i ir u_{ai} matavimų antrajame ir ketvirtajame cikluose, kuriuose magnetinio lauko kryptys yra priešingos ir apskaičiavę vidurkį $N_Q = \frac{1}{2M} \sum_{i=1}^{2M} N_{Qi}$.

Pagrindinis siūlomo išradimo privalumas yra tas, kad jame minimizuotos iš srovės šaltinio paimamos energijos sąnaudos. Prototipe srovės impulso metu elektros energija perduodama magnetinio lauko induktoriaus ritėms. Pasibaigus šiam impulsui sukaupta energija negrįžtamai sunaudojama ritės aktyviojoje varžoje ir komutaciniuose įrenginiuose, neatliekant jokio naudingo darbo. Tuo tarpu siūlomame išradime visa sukaupta magnetinio lauko induktoriaus ritėse 3 ir 4 energija perduodama kondensatoriui 13. Atjungiant kondensatorių nuo ričių tuo metu, kai srovė lygi nuliui, visa energija būna sukaupta kondensatoriuje ir lieka jo energiją papildyti tik tuo dydžiu, kuris buvo išseikvotas aktyviojoje ričių varžoje ir atraminiame varže matavimo metu. Kartu tai leidžia praplėsti elektromagnetinio srauto matuoklio funkcines galimybes, nenaudojant išorinių maitinimo šaltinių.

IŠRADIMO APIBRĖŽTIS

Elektromagnetinis srauto matuoklis, kuriame yra matavimo kanalas, sudarytas iš nemagnetinės medžiagos vamzdžio su vidine izoliacija ir sienelėse įrengtais diametraliai priešingai vienas kitam dviems elektrodais, srovės šaltinis, pirmoji ir antroji ritės, atraminis varžas, pirmasis ir antrasis diferencialiniai stiprintuvai, procesorius, pirmasis ir antrasis jungikliai, komparatorius, išėjimu sujungtas su procesoriaus valdymo įėjimu, ir analoginis skaitmeninis keitiklis, savo informaciniais išėjimais ir valdymo įėjimais prijungti prie procesoriaus, atitinkamai informacinių įėjimų ir pirmosios valdymo išėjimų grupės, be to, pirmasis ir antrasis elektrodai sujungti su pirmuoju ir antruoju pirmojo diferencialinio stiprintuvo įėjimais, kurio išėjimas sujungtas su analoginio skaitmeninio keitiklio pirmuoju įėjimu, antrasis pirmosios žadinimo ritės išvadas sujungtas su pirmuoju antrosios ritės išvadu, antrasis antrosios ritės išvadas su pirmuoju atraminio varžo išvadu ir antrojo diferencialinio stiprintuvo pirmuoju įėjimu, atraminio varžo antrasis išvadas sujungtas su bendruoju matavimo grandinės tašku, pirmojo ir antrojo jungiklių valdymo įėjimai sujungti su atitinkamai, pirmuoju ir antruoju procesoriaus antrosios valdymo išvadų grupės išėjimais, b e s i s k i r i a n t i s tuo, kad į jį papildomai įjungti elektrinis kondensatorius ir ribojantysis varžas, analoginio skaitmeninio keitiklio antrasis įėjimas kartu su komparatoriaus pirmuoju įėjimu prijungtas prie antrojo diferencialinio stiprintuvo išėjimo, kurio antrasis įėjimas sujungtas su antruoju atraminio varžo išvadu, komparatorius antruoju įėjimu prijungtas prie bendrojo grandinės taško, be to, pirmasis ir antrasis jungikliai turi po keturis polius, jų pirmieji poliai sujungti su kondensatoriaus, atitinkamai, pirmuoju ir antruoju išvadais, antrasis pirmojo jungiklio polius sujungtas su pirmuoju srovės šaltinio išvadu, trečiasis polius – su bendruoju grandinės tašku, o ketvirtasis – su antruoju ribojančiojo varžo išvadu, kurio pirmasis išvadas sujungtas su antruoju srovės šaltinio išvadu, o antrojo jungiklio antrasis polius sujungtas su antruoju ribojančiojo varžo išvadu, trečiasis polius – su pirmosios žadinimo ritės pirmuoju išvadu, o ketvirtasis polius – su pirmuoju srovės šaltinio išvadu.

