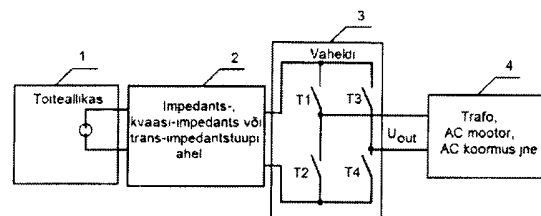


(11) **EE 05654 B1**(51) Int.Cl.
H02M 7/48 (2012.01)(12) **PATENDIKIRJELDUS**

(21) Patenditaotluse number: P201100013	(73) Patendiomanik: Tallinna Tehnikaülikool Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, EE
(22) Patenditaotluse esitamise kuupäev: 28.02.2011	(72) Leiutise autorid: Dmitri Vinnikov Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, EE
(24) Patendi kehtivuse alguse kuupäev: 28.02.2011	Indrek Roasto Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, EE
(43) Patenditaotluse avaldamise kuupäev: 15.10.2012	Tanel Jalakas Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn, EE
(45) Patendikirjelduse avaldamise kuupäev: 15.04.2013	Hannes Agabus Regati pst 1, 11911 Tallinn, EE
	Kristi Tammet Regati pst 1, 11911 Tallinn, EE

(54) **Lühisolekute tekitamise meetod plokkihtimisega ühe- või mitmefaasilisele impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldile**

(57) Leiutis kuulub jõuelektroonika ja jõupooljuhtmuundurite juhtimisvaldkonda ja käsitleb lühisolekute tekitamise meetodeid ühe- või mitmefaasilisele plokkihtimisega impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldile. Vaheldit juhitakse kas pulsilaadusmodulatsiooniga või faasinihkemodulatsiooniga plokkihtimisega. Lühisolekute tekitamiseks plokkihtimise korral pakutakse välja kolm meetodit lühisoleku tekitamine juhtivusolekute ülekatte teel, lühisoleku tekitamine vabavooluolekuks ja lühisoleku tekitamine nulloleku sees. Lülituselementide koormuse tasakaalustamiseks PLM-meetodi korral kasutatakse juhtimismeetodit, kus vaheldi ülemiste ja alumiste juhtelementide juhtimissignaale perioodiliselt vahetatakse.



(57) Invention is related to field of controlling of power electronics and power semiconductor converters and covers a method of shoot-through generation for impedance, quasi-impedance and trans-impedance inverters. The modified sine wave inverter can be controlled either by pulse width modulation or phase shift modulation method. Three methods are provided for generation of shoot-through states: generation of shoot-through by overlapping active states, generation of shoot-through during freewheeling states and generation of shoot-through during the zero states. To equalize the load in the case of pulse width modulation a control method is used where control signals of top and bottom side transistors are periodically swapped.

Lühisolekute tekitamise meetod plokkjuhtimisega ühe- või mitmefaasilisele impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldile

Tehnikavaldkond

- 5 Leiutis kuulub jõuelektronika ja jõupooljuhtmuundurite juhtimisvaldkonda ja käsitleb lühisolekute tekitamise meetodeid plokkjuhtimisega impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vahelditele.

Tehnika tase

- Impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldid on uued jõuelektronika
10 DC/AC muundurid, mis võimaldavad sisendpinget nii tõsta kui ka madaldada ilma lisa lülituselementideta. Need muundurid koosnevad LC-ahelast (impedants, kvaasiimpedants- või transimpedants-tüüpi) ja ühe- või mitmefaasilisest vaheldist (joonis fig 1). Pinge tõstmiseks kasutatakse spetsiaalset lühisolekut, mis tekitatakse vaheldi ühe sillaõla lülituselementide samaaegse sisselülitamisega. Antud juhul toimub lühise ajal magnetvälja
15 energia salvestamine LC-ahelate drosselites ilma samal ajal kondensaatoreid lühistamata. Salvestatud energia abil tõstetakse lühisele järgneva traditsioonilise juhtivusfaasi jooksul alalisvoolu vahelüli pinget. Sellised vaheldid on mõeldud erinevatele jõuelektronika rakendustele, kus seadme paindlik reguleerimine ja töökindlus on eriti tähtsad.

- Impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldite juhtimiseks on senini
20 kasutatud siinusmodulatsiooni koos lühisolekutega st. pulsilaiusmodulatsiooni, kus eesmärgiks on pinge formeerimine nõnda, et tekiks siinuslähedane vool. Siinusmodulatsioon koos lühisolekutega on põhiliselt leidnud rakendust elektrimootorite juhtimisel ning alternatiiv- ja taastuenergia allikate sidumiseks vahelduvvoolu elektrivõrkudega. Siinusmodulatsiooni puudusteks on suhteliselt keerukas
25 juhtimisalgoritm ja asjaolu, et madalsageduslikke siinussignaale ei ole võimalik kanda läbi kõrgsagedusliku impulsstrafo galvaanilist isolatsiooni nõudvates rakendustes. Probleemi lahenduseks on impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldi juhtimiseks kaks lühise tekitamise plokkjuhtimismeetodit: pulsilaiusmodulatsioon (PLM) ja faasinihkemodulatsioon (FNM). Mõlemad meetodid genereerivad vaheldi väljundisse
30 nelinurkse impulsspinge, mille saab kergesti kanda läbi isolatsioonitrafo. Samas on juhtimisalgoritm lihtsam ja koormab vähem juhtimissüsteemi. Plokkjuhtimissignaale lisatakse lühisolek, mille suhtelise kestusega reguleeritakse alalisvooluvahelüli

pingeamplituudi. Lühisolekud jaotatakse üle perioodi nõnda, et kõrgemate harmooniliste arv vaheldi väljundpinges oleks minimeeritud. Vähendamaks lülitus- ja juhtivuskadusid piiratakse lühiste arv lülitusperioodi kohta kahega ning lühisvool jaotatakse võrdselt vaheldi mõlema õla transistoride vahel.

- 5 CN102045026 avalikustab H-silla faasinihkemodulatsiooni juhtsignaali generaatori. H-silla juhtahel väljaspool generaatorit sisaldab A-faasi H-silla vooluahelat ja B-faasi H-silla vooluahelat, mis on teineteise suhtes sümmeetrilised.

- JP2009183075 avalikustab võimsuse muundaja kontrolleri ja süsteemi, mille eesmärk on parandada mootor-generaatori juhtimist, kasutades inverterite ülemises ja alumises õlas lühisolekute tekitamist.

Tuntud on plokkjuhtimismeetodi patent US5784267A. Vahelduvpinge muundurit juhitakse plokkjuhtimismeetodiga ilma lühisolekuteta. Meetodi puuduseks on pinge tõstmise võimaluse puudumine.

- 15 Tuntud on ka impedantsallikaga vaheldi US2009066271. Impedantstoitelist vaheldit kasutatakse kolmefaasilise siinuspinge tekitamiseks. Pinge tõstmine käib juhtimisalgoritmi lisatud lühisolekute abil. Kirjeldatud lahenduse puuduseks on, et ta kehtib ainult siinusmodulatsiooni korral ja ei määra ära lühisolekute genereerimismetoodikat.

- 20 Tuntud on voolutoiteline vaheldi WO9421021. Kolmefaasilisele voolutoitelisele vaheldile lisatakse juurde mõned lülituselemendid, kondensaator ja kaks drosselit, et saavutada pehmelülitust. Vaheldi on töötav siinusmodulatsiooniga. Vaheldi puuduseks on, et ta ei võimalda tekitada vabavoolu-, null- ja lühisolekuid.

Leiutise olemus

- Impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldi lülitusperiood võib koosneda järgnevatest olekutest: nullolek, vabavooluolek, juhtivusolek ja lühisolek.
- 25 Nullolek on koormuse lühistamine vaheldi kõigi ülemiste või alumiste lülituselementide samaaegse sisselülitamisega. Vabavooluolek tekib vaheldi kõigi lülituselementide samaaegse väljalülitamisega, kusjuures vaheldi väljundisse ei teki voolu. Juhtivusolek tekib, kui vaheldi igas sillaõlas on sisselülitatud ainult üks lülituselement ning vaheldi väljundis tekib vool. Lühisolek tekib ühe või kõigi sillaõla ülemiste ja alumiste
- 30 lülituselementide samaaegse sisselülitamisega.

Lühisolekute tekitamiseks plokkjuhtimise korral pakutakse välja kolm meetodit: lühise tekitamine juhtivusolekute ülekatte teel, lühise tekitamine vabavooluolekus ja lühise tekitamine nulloleku sees.

Illustratsioonide loetelu

- 5 Joonisel fig 1 on kujutatud impedants-, kvaasiimpedants- või transimpedantstüüpi vaheldi põhimõtteskeem.

Joonisel fig 2 on kujutatud PLM-juhtimine, kus lühisolekud tekitatakse juhtivusolekute ülekatte teel.

- 10 Joonisel fig 3 on kujutatud PLM-juhtimine, kus lühisolekud tekitatakse vabavooluolekute sees.

Joonisel fig 4 on kujutatud PLM-juhtimine, kus lühisolekud tekitatakse nullolekute sees.

Joonisel fig 5 on kujutatud PLM-juhtimine, kus ülemiste ja alumiste lülituselementide juhtimissignaali perioodiliselt vahetatakse.

Joonisel fig 6 on kujutatud FNM-juhtimine, kus lühisolekud tekitatakse nullolekute sees.

15 Leiutise teostamise näide

- Leiutise põhimõtte on seletatud ühefaasilise vaheldi baasil. Joonisel fig 1 kujutatud vaheldi 3 koosneb lülituselementidest T1, T2, T3 ja T4 (vaheldi võib olla ka mitmeefaasiline). Vaheldit juhitakse kas pulsilaiusmodulatsiooni (PLM) või faasinihkemodulatsiooni (FNM) plokkjuhtimismeetodiga. Null- ja lühisolekud jaotatakse üle perioodi nõnda, et kõrgemate harmooniliste arv vaheldi väljundpinges oleks minimeeritud. Vähendamaks lülitus- ja juhtivuskadusid piiratakse lühisolekute arv perioodi kohta kahega ning lühisvool jaotatakse võrdselt vaheldi mõlema õla transistoride vahel.

- 25 PLM korral on juhtimissignaali konstantse perioodi ja faasinihkega. Vaheldi väljundit reguleeritakse pulsilaiuse ja lühisoleku kestuse muutmisega. Lühisoleku tekitamiseks on võimalik valida kolme meetodi vahel: lühisoleku tekitamine juhtivusolekute ülekatte teel, lühisoleku tekitamine vabavooluoleku sees ja lühise tekitamine nulloleku sees.

- 30 Lühisoleku tekitamise meetod juhtivusolekute ülekatte teel on toodud joonisel fig 2. Joonis fig 2 on kujutatud ühefaasilise vaheldi juhtimissignaali. Lülituselementide paaride (T1/T2 ja T3/T4) juhtimissignaali kattuvad teatud ulatuses üksteisega. Kattuvat ühisosa nimetatakse lühisolekuks ja mittekatuvat osa juhtivusolekuks. Ajahetkel t_0 on T1-T4

suletud ja vaheldi on lühisolekus. Ajahetkel t_1 jäävad T1 ja T4 suletuks, T2 ja T3 avatakse, seega vaheldi vastavate juhtimissignaalidega viiakse vaheldi juhtivusolekusse. Ajavahemikuks t_2-t_3 suletakse T1-T4 ja vaheldi on lühisolekus. Ajahetkel t_3 jäävad T2 ja T3 suletuks, T1 ja T4 avatakse, seega vaheldi vastavate juhtimissignaalidega viiakse vaheldi juhtivusolekusse.

Ajavahemikuks t_4-t_5 suletakse T1-T4 ja vaheldi on jälle lühisolekus. Selline juhtimisskeem annab tulemuseks vaheldi sümmeetrilise väljundpinge (joonis fig 2) amplituudiga U_{DC} . Seega koosneb antud juhtimismeetodi lülitusperiood juhtivus- ja lühisolekust:

$$10 \quad \frac{t_A}{T} + \frac{t_S}{T} = D_A + D_S = 1,$$

kus t_A ja t_S on vastavalt juhtivusoleku ja lühisoleku kestused, D_A ja D_S on vastavalt juhtivusoleku ja lühisoleku suhtelised kestused. Valemist järeldub, et muutes lülituselementide juhtivusolekute kestust muutub automaatselt ka lühisolekute kestus.

Lühisoleku tekitamise meetod vabavooluolekute sees on toodud joonisel fig 3. Antud juhul tekitatakse lühisolek (ajaperiood t_1-t_2) vabavooluoleku (ajaperiood t_0-t_3) sees, kus kõik lülituselemendid T1-T4 on avatud ning vool kulgeb läbi vabavooludiodide (ei ole joonisel fig 1 näidatud). Ajavahemikuks t_3-t_4 suletakse T1 ja T4, samal ajal T2 ja T3 jäävad avatuks, seega vaheldi vastavate juhtimissignaalidega viiakse vaheldi ajavahemikuks t_3-t_4 juhtivusolekusse. Järgnevalt tekitatakse lühisolek (ajaperiood t_5-t_6) järgmise vabavooluoleku (ajaperiood t_4-t_7) sees, kus kõik lülituselemendid T1-T4 on avatud ning vool kulgeb läbi vabavooludiodide (ei ole joonisel fig 1 näidatud). Ajavahemikuks t_7-t_8 suletakse T2 ja T3, samal ajal T1 ja T4 jäävad avatuks, seega vaheldi vastavate juhtimissignaalidega viiakse vaheldi ajavahemikuks t_7-t_8 juhtivusolekusse. Sealjuures vajalikuks tingimuseks on, et vabavooluoleku kestus t_{FRW} oleks pikem kui maksimaalne lühisoleku kestus ehk $t_2-t_1 < t_3-t_0$ ja $t_6-t_5 < t_7-t_4$. Lülitusperiood koosneb kolmest osast: juhtivus-, lühis- ja vabavooluolekust.

$$\frac{t_A}{T} + \frac{t_S}{T} + \frac{t_{FRW}}{T} = D_A + D_S + D_{FRW} = 1,$$

kus t_{FRW} on vabavooluoleku kestus, D_{FRW} on vabavooluoleku suhteline kestus.

Vaheldi ülemiste (T1/T3) või alumiste (T2/T4) lülituselementide samaaegne sisselülitamine lühistab koormuse 4 ning tekitab nulloleku (vt joonis fig 4). Sellisel juhul tekitatakse lühisolek (ajaperiood t1-t2) nulloleku (ajaperiood t0-t3) sees. Ajavahemikul t0-t3 on T1 ja T3 suletud, samal ajal T2 ja T4 on avatud. Ajaperioodi t0-t3 sees ehk nulloleku sees avatakse ajaperioodiks t1-t2 T2 ja T4, seega vaheldi vastavate juhtimissignaalidega viiakse vaheldi ajavahemikuks t1-t2 lühisolekusse.

Järgnevalt viiakse vaheldi ajaperioodiks t3-t4 juhtivusolekusse. Ajaperioodi t4-t7 sees ehk nulloleku jooksul avatakse ajaperioodiks t5-t6 T2 ja T4, seega vaheldi vastavate juhtimissignaalidega viiakse vaheldi ajavahemikuks t5-t6 lühisolekusse. Ajavahemikuks t7-t8 suletakse T2 ja T3, samal ajal T1 ja T4 jäävad avatuks, seega vaheldi vastavate juhtimissignaalidega viiakse vaheldi ajavahemikuks t7-t8 juhtivusolekusse. Sealjuures vajalikuks tingimuseks on, et nulloleku kestus t_Z oleks pikem kui maksimaalne lühisolekukestus ehk $t_2 - t_1 < t_3 - t_0$ ja $t_6 - t_5 < t_7 - t_4$. Lülitusperiood koosneb kolmest osast: juhtivus-, lühis- ja nullolekust.

$$15 \quad \frac{t_A}{T} + \frac{t_S}{T} + \frac{t_Z}{T} = D_A + D_S + D_Z = 1,$$

kus t_Z on nulloleku kestus, D_Z on nulloleku suhteline kestus.

PLM-meetodi korral, kus lühis tekitatakse nullolekute sees (vt joonis fig 4), on ülemiste (T1/T3) ja alumiste (T2/T4) lülituselementide juhtimissignaali erinevad (vt joonis fig 4). Seetõttu on ka lülituselementide lülituskao erinevad ja lülituselemendid on erinevalt koormatud. Selle efekti vältimiseks kasutatakse käesolevas leiutises PLM-meetodit, kus ülemiste ja alumiste lülituselementide juhtsignaale omavahel perioodiliselt vahetatakse (vt joonis fig 5). Selle tulemusel võrdsustatakse lülituselementide lülituskao.

FNM korral hoitakse pulsilaiust konstantsena. Vaheldi väljundit reguleeritakse juhtimissignaali omavahelise faasinurga ja lühisoleku kestuse muutmisega (vt joonis fig 6). Lühisolek (ajaperiood t1-t2 ja t5-t6) tekitatakse FNM korral nulloleku (ajaperiood t4-t7) sees. Vaheldi ülemiste (T1/T3) või alumiste (T2/T4) lülituselementide samaaegne sisselülitamine lühistab koormuse 4 ning tekitab nulloleku. Sellisel juhul tekitatakse lühisolek nulloleku sees. Sealjuures vajalikuks tingimuseks on, et nulloleku kestus t_Z oleks pikem kui maksimaalne lühisolekukestus ehk $t_2 - t_1 < t_3 - t_0$ ja $t_6 - t_5 < t_7 - t_4$. Lülitusperiood koosneb kolmest osast: juhtivus-, lühis- ja nullolekust. Erinevalt PLM-meetodist kui

lühisolek tekitatakse nulloleku sees, kus nullolekud genereeritakse pidevalt ühe lülituselementide grupi (kas ülemine või alumine) poolt, tekitatakse FNM korral nullvektor kordamööda ülemise ja alumise lülituselementide grupi poolt. Sellega tagatakse lülituselementidele identsed juhtimissignaaliid, millest järeldub, et ka lülituskaod on võrdsed. Seega koormatakse lülituselemente ühtlaselt.

Joonistel fig 1 kuni fig 6 on kasutatud järgmiseid tähiseid:

- 1 – sisendpingeallikas
- 2 – impedants-, kvaasiimpedants- või transimpedants-tüüpi ahel
- 3 – ühe- või mitmefaasiline vaheldi
- 10 4 – trafo, AC mootor, AC koormus jne.
- T1, T2, T3, T4 – vaheldi lülituselemendid
- U_{out} – vaheldi väljundpinge
- U_P – positiivne võrdluspinge lühisolekute tekitamiseks
- U_N – negatiivne võrdluspinge lühisolekute tekitamiseks

Patendinõudlus

1. Lühisolekute tekitamise meetod plokkjuhtimisega ühe või mitmefaasilisele impedants-, kvaasiimpedants- ja transimpedants-tüüpi vaheldile, mis **erineb selle poolest**, et vaheldit juhitakse plokkjuhtimisega, kusjuures lühisolekute tekitamiseks kasutatakse ühte järgmisest valikust: vaheldi juhtivusolekute ülekatet, vabavooluolekut, nullolekut, nullolekut koos juhtisignaali omavahelise faasinurga muutmisega.
5
2. Meetod vastavalt nõudluspunktile 1, mis **erineb selle poolest**, et juhtivusolekute ülekatteks vaheldi lülisid T1, T2, T3, T4 suletakse pikemaks ajaperioodiks kui avatakse.
3. Meetod vastavalt nõudluspunktile 1, mis **erineb selle poolest**, et plokkjuhtimise juhtisignaale lülitatakse fikseeritud sagedusega ja muudetakse pulsilaiust.
10
4. Meetod vastavalt nõudluspunktile 1, mis **erineb selle poolest**, et lühisolekud tekitatakse vabavooluolekute sees.
5. Meetod vastavalt nõudluspunktile 1, mis **erineb selle poolest**, et lühisolekud tekitatakse nullolekute sees.
6. Meetod vastavalt nõudluspunktile 1, mis **erineb selle poolest**, et lühisolekute arv perioodi kohta on kaks.
15
7. Meetod vastavalt nõudluspunktile 5, mis **erineb selle poolest**, et vaheldi ülemiste ja alumiste lülide juhtisignaale vahetatakse omavahel perioodiliselt lülituskadude võrdsustamiseks.
8. Meetod vastavalt nõudluspunktile 1, mis **erineb selle poolest**, et plokkjuhtimise juhtisignaale lülitatakse fikseeritud sageduse ja pulsilaiusega ja muudetakse juhtimissignaali omavahelist faasinurka.
20
9. Plokkjuhtimismeetod vastavalt nõudluspunktile 8, mis **erineb selle poolest**, et lühisolekud tekitatakse nullolekute sees.

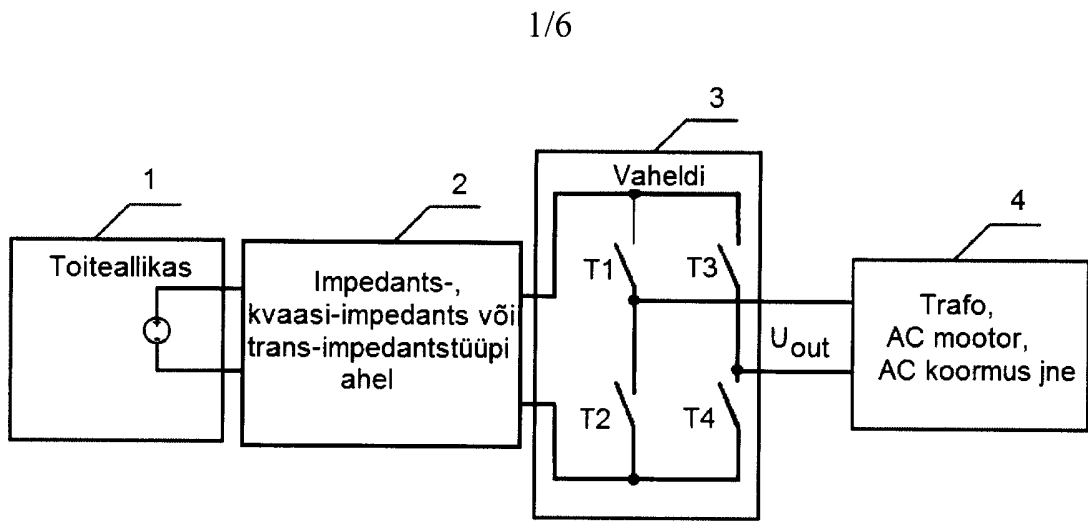


FIG 1

2/6

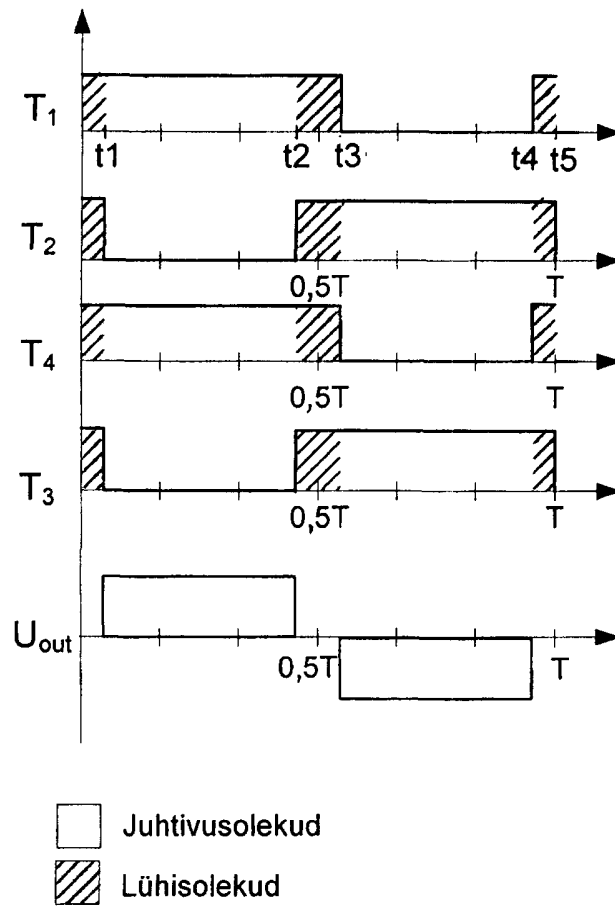


FIG 2

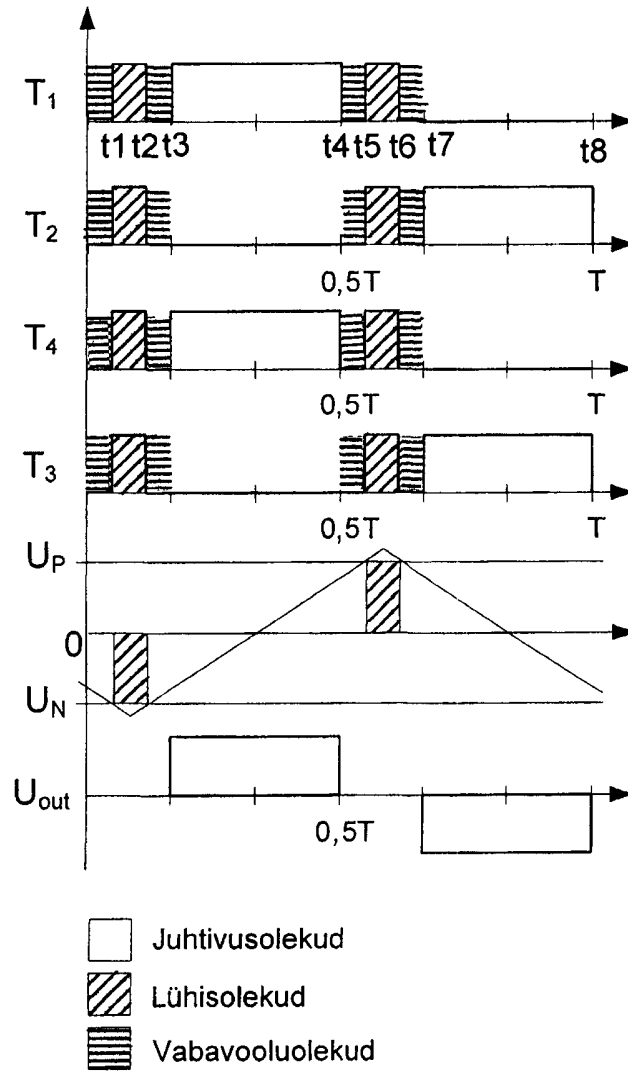


FIG 3

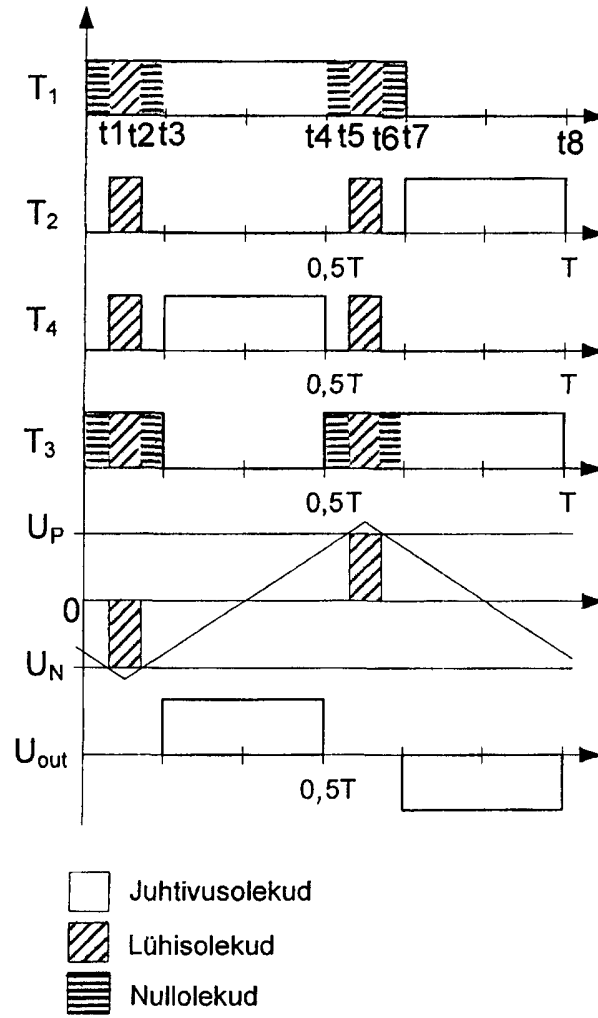


FIG 4

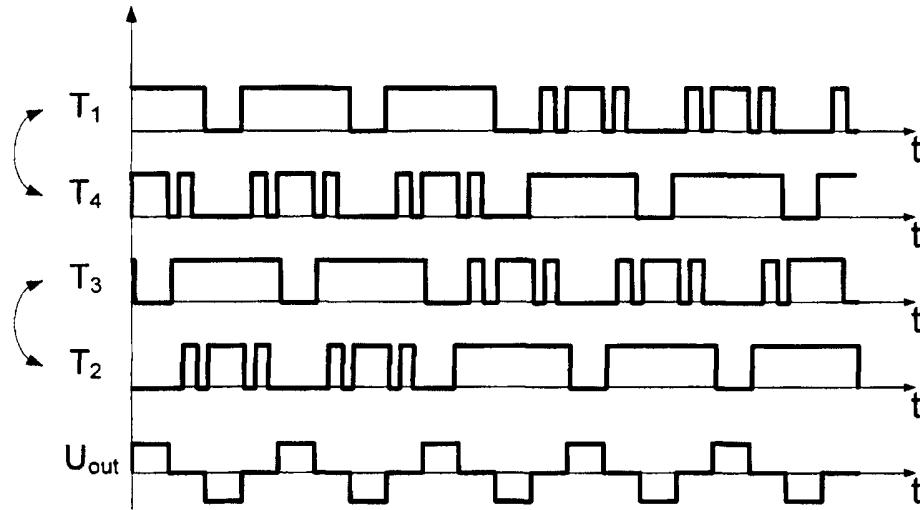


FIG 5

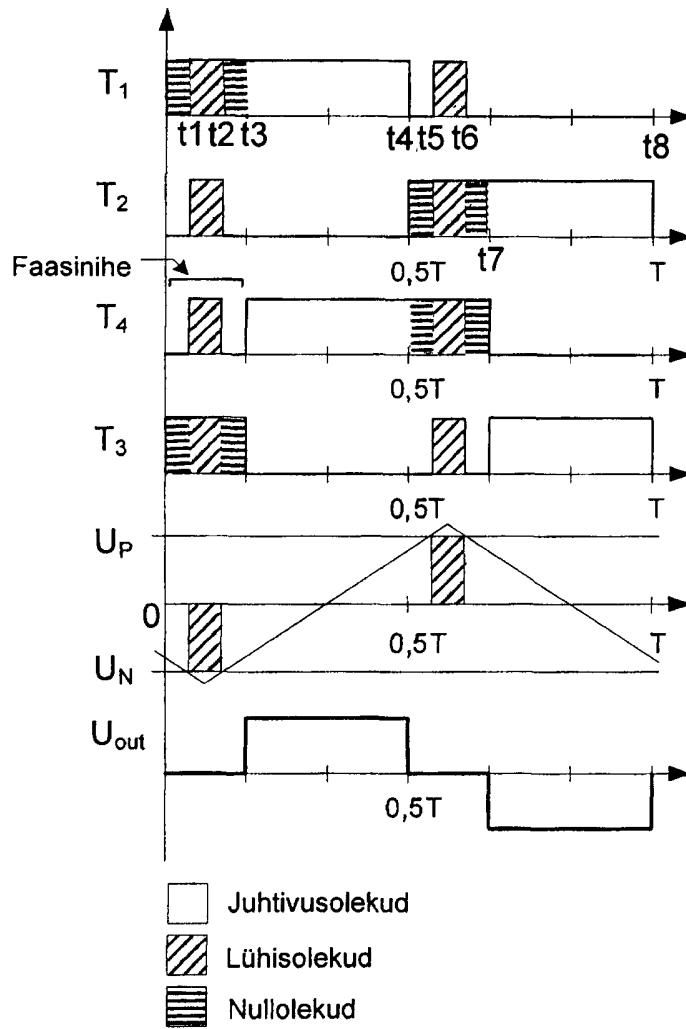


FIG 6