



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

242 600

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 15 11 84
(21) /PV 8715 - 84/

(51) Int. Cl. 4

H 02 P 5/16

(40) Zveřejněno 31 08 85
(45) Vydáno 01 03 88

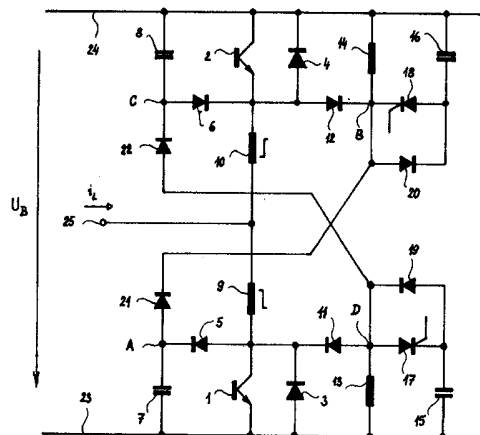
(75)
Autor vynálezu

MIKYSKA ZDENĚK ing., BRNO

(54)

Odlehčovací obvod větve tranzistorového
pulsního měniče s napěťovým mezilehlým obvodem

Řešení se týká odlehčovacího obvodu větve tranzistorového pulsního měniče s napěťovým mezilehlým obvodem, v němž jsou mezi zápornou napájecí sběrnicí a kladnou napájecí sběrnicí v sérii zapojeny první tranzistorový spínač typu NPN, přemostěný první nulovou diodou, a druhý tranzistorový spínač typu NPN, přemostěný druhou nulovou diodou, přičemž mezi kolektorem prvního tranzistorového spínače typu NPN a výstupní svorkou větve je zapojena první přesytka a druhá přesytka je zapojena mezi emitorem druhého tranzistorového spínače typu NPN a výstupní svorkou větve, k níž je připojen spoj prvního tranzistorového spínače typu NPN s druhým tranzistorovým spínačem typu NPN. Účelem zapojení je snížit spínací ztráty, vznikající v tranzistorových spínačích, vyloučit činné ztráty ve vlastním odlehčovacím obvodu a současně odstranit přídavné proudové zatěžování tranzistorových spínačů při jejich spínání. Uvedeného účelu se dosáhne zejména použitím oddělovacích tyristorů a pomocných nulových diod.



Vynález se týká odlehčovacího obvodu větve tranzistorového pulsního měniče s napětovým mezilehlým obvodem, v němž jsou mezi zápornou napájecí sběrnicí a kladnou napájecí sběrnicí v sérii zapojeny první tranzistorový spínač typu NPN, přemostěný první nulovou diodou, a druhý tranzistorový spínač typu NPN, přemostěný druhou nulovou diodou, přičemž mezi kolektorem prvního tranzistorového spínače typu NPN a výstupní svorkou větve je zapojena první přesytka a druhá přesytka je zapojena mezi emitorem druhého tranzistorového spínače typu NPN a výstupní svorkou větve, k níž je připojen spoj prvního tranzistorového spínače typu NPN s druhým tranzistorovým spínačem typu NPN.

Odlehčovací obvod slouží k ochraně tranzistorových spínačů proti spínacím ztrátám. Tranzistorový pulsní měnič s napětovým mezilehlým obvodem sestává z jedné nebo více větví, z nichž každá obsahuje dva tranzistorové spínače, které připojují výstupní svorky větví střídavě ke kladné nebo záporné napájecí sběrnicí mezilehlého obvodu. Součástí těchto větví jsou nulové diody, které umožňují vedení výstupního proudu větví v případě, že oba tranzistorové spínače jedné větve jsou rozepnuty, nebo jeden z nich je sepnut, avšak proud zátěže teče dočasně proti směru jeho vedení.

Při spínání a rozpínání dílčích tranzistorových spínačů dochází k jejich dočasnému výkonovému přetěžování, které je charakterizováno tím, že po dobu spínacího, popřípadě rozpínacího děje, je tranzistorový spínač namáhán velkým napětím, řádově stovek voltů, a velkým proudem, řádově desítek ampérů, což zapříčiňuje spínací, popřípadě rozpínací ztráty. Tento problém nelze řešit použitím tranzistorů s vyhovujícími parametry, ne-

boť je fyzikálně nemožné vyrobit tranzistor, jenž by dovoľoval spínat nebo rozpínat velký proud ze zdroje velkého napětí a současně byl dostatečně rychlý. Při požadavku sestavit tranzistorový měnič o typovém výkonu řádově desítek kilovoltampérů je pak třeba použít obvodového řešení, které by tranzistorové spínače, popřípadě elementární tranzistory, z nichž je spínač sestaven, dostatečně výkonově a tím i tepelně odlehčilo a to s výhodou nejlépe tak, aby i v odlehčovacím obvodu samotném nevznikaly ztráty. K tomu účelu byla navržena řada odlehčovacích obvodů, které jsou sestaveny z kondenzátorů, tlumivek, odporů, diod, popřípadě aktivních polovodičových prvků. Počet použitých pasivních prvků je značně veliký, obvody obsahují veliký počet tlumivek a odlehčované tranzistorové spínače jsou při jejich spínání přídavně proudově zatěžovány. V použitých odporech dochází k energetickým ztrátám.

Výše uvedené nedostatky jsou odstraněny u odlehčovacího obvodu větve tranzistorového pulsního měniče s napěťovým mezi-
lehlým obvodem podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že mezi zápornou napájecí sběrnicí a kladnou napájecí sběrnicí jsou v sérii zapojeny první zpoždovací kondenzátor, první vazební dioda a první tlumivka, přičemž mezi prvním větвовým uzlem, mezi prvním zpoždovacím kondenzátorem a anodou první vazební diody a spojem katody první nulové diody s první přesýtkou je zapojena první oddělovací dioda katodou k prvnímu větвовému uzlu a mezi druhým větвовým uzlem, mezi katodou první vazební diody a první tlumivkou a spojem anody druhé nulové diody s druhou přesýtkou je zapojena druhá pomocná nulová dioda katodou k druhému větвовému uzlu, mezi druhým větвовým uzlem a kladnou napájecí sběrnicí jsou v sérii zapojeny první oddělovací tyristor a první omezovací kondenzátor, přičemž první oddělovací tyristor je připojen k druhému větвовému uzlu svojí katodou a je přemostěn první zpětnou diodou, spojenou anodou s druhým větвовým uzlem, mezi kladnou napájecí sběrnicí a zápornou napájecí sběrnicí jsou v sérii zapojeny druhý zpoždovací kondenzátor, druhá vazební dioda a druhá tlumivka, přičemž mezi třetím větвовým uzlem mezi druhým zpoždovacím kondenzátorem a katodou druhé vazební diody a spojem anody druhé nulové diody

s druhou přesýtkou je zapojena druhá oddělovací dioda anodou k třetímu větrovému uzlu, a mezi čtvrtým větrovým uzlem, mezi anodou druhé vazební diody a druhou tlumivkou a spojem katody první nulové diody s první přesýtkou je zapojena první pomocná nulová dioda anodou ke čtvrtému větrovému uzlu, a mezi čtvrtým větrovým uzlem a zápornou napájecí sběrnicí jsou v sérii zapojeny druhý oddělovací tyristor a druhý omezovací kondenzátor, přičemž druhý oddělovací tyristor je připojen ke čtvrtému větrovému uzlu svojí anodou a je přemostěn druhou zpětnou diodou, spojenou katodou se čtvrtým větrovým uzlem.

U řešení podle vynálezu je použitím oddělovacích tyristorů odlehčovací obvod bezztrátový a navíc je odstraněno přídavné proudové zatěžování tranzistorových spínačů při jejich spínání. Výhodou odlehčovacího obvodu podle vynálezu rovněž je, že tento při vypínání například prvního tranzistorového spínače nejprve akumuluje energii potřebnou k přechodu proudu zátěže z první přesýtky na druhou přesýtku do prvního omezovacího kondenzátoru a bezprostředně poté cíleným sepnutím prvního oddělovacího tyristoru dále do první tlumivky. Proud zátěže se následkem toho rozdělí mezi druhou nulovou diodu a paralelně k ní přiřazené spojení druhé pomocné nulové diody s první tlumivkou. Při spínání prvního tranzistorového spínače energie uložená v první tlumivce vybíjí příslušný první zpožďovací kondenzátor a to podle velikosti proudu zátěže, respektive podle dimenzování prvků odlehčovacího obvodu, případně až na nulové napětí. Vybíjecí proud zpožďovacího kondenzátoru tedy vůbec neprotéká přes spínaný tranzistorový spínač a protože v zapojení odlehčovacího obvodu podle vynálezu není užito žádného odporu, dochází k omezeným ztrátám pouze v užitých prvcích. Pokud by velikost energie uložené v tlumivce byla větší než velikost energie uložené ve zpožďovacím kondenzátoru, přechází rozdíl obou energií do mezilehlého obvodu. Vlivem činnosti odlehčovacího obvodu podle vynálezu dochází při spínání nebo vypínání tranzistorových spínačů ke snížení jejich spínacích nebo vypínacích ztrát. Když proud zátěže teče opačným směrem, je činnost odlehčovacího obvodu podle vynálezu duální.

Na připojeném výkrese je znázorněn odlehčovací obvod podle vynálezu, kde je vyznačeno možné vytvoření odlehčovacího obvodu, u kterého může být jak první tranzistorový spínač typu NPN, tak i druhý tranzistorový spínač typu NPN sestaven z několika paralelně spojených elementárních bipolárních tranzistorů typu NPN a nebo skupiny tranzistorů typu NPN, uspořádaných v Darlingtonově zapojení.

U odlehčovacího obvodu větve tranzistorového pulsního měniče s napěťovým mezilehlým obvodem podle vynálezu jsou mezi zápornou napájecí sběrnicí 23 a kladnou napájecí sběrnicí 24 v sérii zapojeny první tranzistorový spínač 1 typu NPN, který je přemostěn první nulovou diodou 3, a druhý tranzistorový spínač 2, který je přemostěn druhou nulovou diodou 4. Mezi kolektorem prvního tranzistorového spínače 1 typu NPN a výstupní svorkou 25 větve je zapojena první přesytka 9, přičemž druhá přesytka 10 je zapojena mezi emitorem druhého tranzistorového spínače 2 typu NPN a výstupní svorkou 25 větve, ke které je připojen spoj prvního tranzistorového spínače 1 typu NPN s druhým tranzistorovým spínačem 2 typu NPN. Mezi zápornou napájecí sběrnicí 23 a kladnou napájecí sběrnicí 24 jsou v sérii zapojeny první zpoždovací kondenzátor 7, první vazební dioda 21 a první tlumivka 14, přičemž mezi prvním větвовým uzlem A, mezi prvním zpoždovacím kondenzátorem 7 a anodou první vazební diody 21 a spojem katody první nulové diody 3 s první přesytkou 9 je zapojena první oddělovací dioda 5 katodou k prvnímu větвовému uzlu A a mezi druhým větвовým uzlem B, mezi katodou první vazební diody 21 a první tlumivkou 14 a spojem anody druhé nulové diody 4 s druhou přesytkou 10 je zapojena druhá pomocná nulová dioda 12 katodou k druhému větвовému uzlu B mezi druhým větвовým uzlem B a kladnou napájecí sběrnicí 24 jsou v sérii zapojeny první oddělovací tyristor 18 a první omezovací kondenzátor 16, přičemž první oddělovací tyristor 18 je připojen k druhému větвовému uzlu B svojí katodou a je přemostěn první zpětnou diodou 20, která je spojena anodou s druhým větвовým uzlem B. Mezi kladnou napájecí sběrnicí 24 a zápornou napájecí sběrnicí 23 jsou v sérii zapojeny druhý zpoždovací kondenzátor 8, druhá vazební dioda 22 a druhá tlumivka 13, přičemž mezi třetím větвовým uzlem C mezi zpoždovacím konden-

zátozem 8 a katodou druhé vazební diody 22 a spojem anody druhé nulové diody 4 s druhou přesýtkou 10 je zapojena druhá oddělovací dioda 6 anodou k třetímu větrovému uzlu C, a mezi čtvrtým větrovým uzlem D mezi anodou druhé vazební diody 22 a druhou tlumivkou 13 a spojem katody první nulové diody 3 s první přesýtkou 9 je zapojena první pomocná nulová dioda 11 anodou ke čtvrtému větrovému uzlu D, a mezi čtvrtým větrovým uzlem D a zápornou napájecí sběrnici 23 jsou v sérii zapojeny druhý oddělovací tyristor 17 a druhý omezovací kondenzátor 15, přičemž druhý oddělovací tyristor 17 je připojen ke čtvrtému větrovému uzlu D svojí anodou a je přemostěn druhou zpětnou diodou 19, která je spojena katodou se čtvrtým větrovým uzlem D.

Z popsaných součástí jsou na připojeném výkrese identické první tranzistorový spínač 1 a druhý tranzistorový spínač 2, první nulová dioda 3 a druhá nulová dioda 4, první přesýtky 9 a druhá přesýtky 10, první zpoždovací kondenzátor 7 a druhý zpoždovací kondenzátor 8, první vazební dioda 21 a druhá vazební dioda 22, první tlumivka 14 a druhá tlumivka 13, první oddělovací dioda 5 a druhá oddělovací dioda 6, první pomocná nulová dioda 11 a druhá pomocná nulová dioda 12, první omezovací kondenzátor 16 a druhý omezovací kondenzátor 15, první oddělovací tyristor 18 a druhý oddělovací tyristor 17 a první zpětná dioda 20 a druhá zpětná dioda 19.

Činnost odlehčovacího obvodu podle vynálezu je následující.

Předpokládá se, že mezi kladnou napájecí sběrnici 24 a zápornou napájecí sběrnici 23 je připojen zdroj mezilehlého napětí U_B se schopností energii též akumulovat. Rovněž se předpokládá, že zátěž má odporově induktivní charakter s případným zdrojem proměnného napětí a že doba mezi sepnutím téhož tranzistorového spínače je daleko kratší, než časová konstanta zátěže. Dále se předpokládá, že proud i_L zátěže teče naznačeným směrem a vtéká přes první přesýtku 9 a sepnutý první tranzistorový spínač 1 do záporné napájecí sběrnice 23 mezilehlého obvodu. Na prvním zpoždovacím kondenzátoru 7 je napětí buď menší jak mezilehlé napětí U_B nebo nulové napětí, na prvním omezovacím kondenzátoru 16 je nulové napětí, na druhém zpoždovacím kondenzá-

toru 8 je celé mezilehlé napětí U_B a na druhém omezovacím kondenzátoru 15 je nulové napětí. Růžepne-li se nyní při trvale vypnutém druhém tranzistorovém spínači 2 i první tranzistorový spínač 1, zvětší se napětí kolektor-emitor prvního tranzistorového spínače 1 skokem na hodnotu napětí na prvním zpoždovacím kondenzátoru 7 a proud i_L zátěže nabíjí první zpoždovací kondenzátor 7 do té doby, než napětí na něm nedosáhne hodnoty mezilehlého napětí U_B . Proud i_L zátěže přitom teče přes první přesytka 9 a po dobu poklesu kolektorového proudu právě vypínaného prvního tranzistorového spínače 1 se dočasně dělí mezi něj a cestu první oddělovací dioda 5 a první zpoždovací kondenzátor 7. Vlivem nabíjení prvního zpoždovacího kondenzátoru 7 se zpomaluje nárůst napětí kolektor-emitor prvního tranzistorového spínače 1, takže zánik jeho kolektorového proudu probíhá při podstatně nižším napětí, než jak by tomu bylo bez použití odlehčovacího obvodu vůbec. Tím se dosáhne snížení vypínacích ztrát prvního tranzistorového spínače 1. Jakmile napětí na prvním zpoždovacím kondenzátoru 7 dosáhne hodnoty mezilehlého napětí U_B , začíná proces přechodu proudu i_L zátěže z první přesytka 9 na druhou přesytka 10. Část proudu i_L zátěže, tekoucí nadále první přesytka 9 a první oddělovací diodou 5, se dělí mezi první zpoždovací kondenzátor 7 a cestu první vazební dioda 21, první zpětná dioda 20 a první omezovací kondenzátor 16, respektive cestu první vazební dioda 21 a první tlumivka 14. Zbývající část proudu i_L zátěže teče cestou druhá přesytka 10 a druhá nulová dioda 4. První omezovací kondenzátor 16 omezuje velikost napěťového překmitu mezi kolektorem a emitorem prvního tranzistorového spínače 1 nad hodnotu mezilehlého napětí U_B . Jakmile proud i_L zátěže zcela přejde z první přesytka 9 na druhou přesytka 10, klesá skokem napětí kolektor-emitor prvního tranzistorového spínače 1 na hodnotu mezilehlého napětí U_B , první oddělovací dioda 5 se uzavírá a v případě, že by nebyl na mřížku prvního oddělovacího tyristoru 18 přiveden zapalovací impuls, došlo by ke vzrůstu jeho napětí anoda-katoda z nuly do kladných hodnot v důsledku vybíjení prvního zpoždovacího kondenzátoru 7 zmagnetizovanou první tlumivkou 14 přes nadále otevřenou první vazební diodu 21. U odlehčovacího obvodu větve tranzistorového pulsního měniče s napěťo-

vým mezilehlým obvodem podle vynálezu je zapalovací impuls na mřížku prvního oddělovacího tyristoru 18, respektive druhého oddělovacího tyristoru 17 přiváděn vždy v okamžiku vypínání prvního tranzistorového spínače 1, respektive druhého tranzistorového spínače 2, a tento zapalovací impuls má dobu trvání zvolenu tak, aby spolehlivě překrývala okamžik vzniku kladného napětí mezi anodou a katodou uvažovaného prvního oddělovacího tyristoru 18, respektive druhého oddělovacího tyristoru 17. Proto se první oddělovací tyristor 18 zapálí a vybíjí první omezovací kondenzátor 16 do první tlumivky 14. Současně s tím se snižuje napětí na prvním zpožďovacím kondenzátoru 7. Vybíjení prvního omezovacího kondenzátoru 16 končí v okamžiku, kdy napětí na něm dosáhne nulové hodnoty a napětí na prvním zpožďovacím kondenzátoru 7 velikosti mezilehlého napětí U_B . V tomto okamžiku se otvírá druhá pomocná nulová dioda 12 a zavírají se první oddělovací tyristor 18 a první vazební dioda 21. Proud i_L zátěže, tekoucí před tímto okamžikem celý druhou nulovou diodou 4 se přerozdělí tak, že jeho větší část teče druhou nulovou diodou 4 a jeho menší část druhou pomocnou nulovou diodou 12 a první tlumivkou 14. Tento poměr je dán volbou velikosti indukčnosti první přesytky 9 a druhé přesytky 10. Po uplynutí určité doby po okamžiku otevření druhé pomocné nulové diody 12 je celý provoz související s vypínáním prvního tranzistorového spínače 1 ukončen a může dojít k jeho opětovnému sepnutí. Počátečními podmínkami pro sepnutí prvního tranzistorového spínače 1 je nulové napětí na prvním omezovacím kondenzátoru 16, napětí o velikosti mezilehlého napětí U_B na prvním zpožďovacím kondenzátoru 7, obnovená blokovácí schopnost prvního oddělovacího tyristoru 18 a část proudu i_L zátěže, tekoucí druhou pomocnou diodou 12 a první tlumivkou 14 mimo otevřenou druhou nulovou diodu 4.

Předpokládá se nadále, že proud i_L zátěže má naznačený směr a vtéká přes druhou přesytku 10 a druhou nulovou diodou 4, respektive druhou pomocnou nulovou diodou 12 a první tlumivkou 14 do kladné sběrnice 24 mezilehlého obvodu. Sepne-li se nyní při trvale vypnutém druhém tranzistorovém spínači 2 první

tranzistorový spínač 1, dojde k přechodu proudu i_L zátěže z druhé nulové diody 4 na první tranzistorový spínač 1, přičemž první přesytka 9 a druhá přesytka 10 zpomalují nárůst proudu prvním tranzistorovým spínačem 1 a současně snižují jeho napětí kolektor-emitor na hodnotu podstatně menší, než je hodnota mezilehlého napětí U_B . Tím se dosáhne snížení spínacích ztrát prvního tranzistorového spínače 1. Jakmile zanikne proud druhou nulovou diodou 4, dojde ke snižování proudu druhou pomocnou nulovou diodou 12, což je provázeno otevřením se první vazební diody 21, částečným snížením napětí na prvním zpožďovacím kondenzátoru 7 a částečným zmenšením proudu, tekoucího první tlumivkou 14. V okamžiku, kdy zanikne proud druhou pomocnou nulovou diodou 12, t.j. v okamžiku, kdy celý proud i_L zátěže přejde na první tranzistorový spínač 1, je kryt celý zbávající proud, tekoucí první tlumivkou 14, z prvního zpožďovacího kondenzátoru 7 přes nadále otevřenou první vazební diodu 21. Podle velikosti tohoto proudu dojde následně buď k částečnému nebo úplnému vybití prvního zpožďovacího kondenzátoru 7. Dosáhne-li napětí na prvním zpožďovacím kondenzátoru 7 nulové velikosti, otevírá se první oddělovací dioda 5 a přes první tranzistorový spínač 1 dojde konečně k úplné demagnetizaci první tlumivky 14 zdrojem mezilehlého napětí. Tím je proces související se spínáním prvního tranzistorového spínače 1 ukončen. Funkce druhého tranzistorového spínače 2 je pak ve vztahu k prvnímu tranzistorovému spínači 1 duální.

Sledují-li se nyní související děje se spínáním a vypínáním například prvního tranzistorového spínače 1 z energetického hlediska s malými nepřesnostmi v celku, pak energie související přechodem proudu i_L zátěže z první přesytky 9 na druhou přesytku 10 při vypínání prvního tranzistorového spínače 1 přechází postupně na první omezovací kondenzátor 16, dále na první tlumivku 14 a po opětovném sepnutí prvního tranzistorového spínače 1 je ve stejném množství odváděna z prvního zpožďovacího kondenzátoru 7 do zdroje mezilehlého napětí U_B . Následkem toho je první zpožďovací kondenzátor 7 při spínání prvního tranzistorového spínače 1 vybíjen úměrně velikosti proudu i_L zátěže. Při malých proudech i_L zátěže není vybíjen

až na nulové napětí, kdežto od jisté hraniční velikosti proudu i_{L0} zátěže je. Tato vlastnost odlehčovacího obvodu větve tranzistorového pulsního měniče podle vynálezu způsobuje rychlejší změnu napětí na zátěži při vypínání příslušného tranzistorového spínače při malých proudech i_L zátěže než u jiných odlehčovacích obvodů, kde bývá zpoždovací kondenzátor vybíjen na nulové napětí bez vztahu k velikosti proudu i_L zátěže. Tím se dosahuje rychlejší reagece invertoru tranzistorového pulsního měniče na řídicí povely při malých proudech i_L zátěže a současně zaručuje efektivní snížení přepínacích ztrát jeho tranzistorových spínačů při velkých přepínacích kmitočtech.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

242 800

Odlehčovací obvod větve tranzistorového pulsního měniče s napěťovým mezilehlým obvodem, v němž jsou mezi zápornou napájecí sběrnicí a kladnou napájecí sběrnicí v sérii zapojeny první tranzistorový spínač typu NPN, přemostěný první nulovou diodou, a druhý tranzistorový spínač typu NPN, přemostěný druhou nulovou diodou, přičemž mezi kolektorem prvního tranzistorového spínače typu NPN a výstupní svorkou větve je zapojena první přesytka a druhá přesytka je zapojena mezi emitorem druhého tranzistorového spínače typu NPN a výstupní svorkou větve, k níž je připojen spoj prvního tranzistorového spínače typu NPN s druhým tranzistorovým spínačem typu NPN, vyznačující se tím, že mezi zápornou napájecí sběrnicí (23) a kladnou napájecí sběrnicí (24) jsou v sérii zapojeny první zpožďovací kondenzátor (7), první vazební dioda (21) a první tlumivka (14), přičemž mezi prvním větвовým uzlem (A), mezi prvním zpožďovacím kondenzátorem (7) a anodou první vazební diody (21) a spojem katody první nulové diody (3) s první přesytkou (9) je zapojena první oddělovací dioda (5) katodou k prvnímu větвовému uzlu (A) a mezi druhým větвовým uzlem (B), mezi katodou první vazební diody (21) a první tlumivkou (14) a spojem anody druhé nulové diody (4) s druhou přesytkou (10) je zapojena druhá pomocná nulová dioda (12) katodou k druhému větвовému uzlu (B), mezi druhým větвовým uzlem (B) a kladnou napájecí sběrnicí (24) jsou v sérii zapojeny první oddělovací tyristor (18) a první omezovací kondenzátor (16), přičemž první oddělovací tyristor (18) je připojen k druhému větвовému uzlu (B) svojí katodou a je přemostěn první zpětnou diodou (20), spojenou anodou s druhým větвовým uzlem (B), mezi kladnou napájecí sběrnicí (24) a zápornou napájecí sběrnicí (23) jsou v sérii zapojeny druhý zpožďovací kondenzátor (8), druhá vazební dioda (22) a druhá tlumivka (13), přičemž mezi třetím větвовým uzlem (C) mezi druhým zpožďovacím kondenzátorem (8) a katodou druhé vazební diody (22) a spojem anody druhé nulové diody (4) s druhou přesytkou (10) je zapojena druhá oddělovací dioda (6) anodou k třetímu větвовému uzlu (C), a mezi čtvrtým větвовým

uzlem (D), mezi anodou druhé vazební diody (22) a druhou tlumivkou (13) a spojem katody první nulové diody (3) s první přesýtkou (9) je zapojena první pomocná nulová dioda (11) anodou ke čtvrtému větrovému uzlu (D), a mezi čtvrtým větrovým uzlem (D) a zápornou napájecí sběrní (23) jsou v sérii zapojeny druhý oddělovací tyristor (17) a druhý omezovací kondenzátor (15), přičemž druhý oddělovací tyristor (17) je připojen ke čtvrtému větrovému uzlu (D) svojí anodou a je přemostěn druhou zpětnou diodou (19), spojenou katodou se čtvrtým větrovým uzlem (D).

1 výkres

