



A OBJEVY

254 062

(B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 20 05 85
(21) PV 3582-85

(51) Int. Cl.⁴

H 03 K 17/04
H 03 K 17/10

(40) Zveřejněno 14 05 87

(45) Vydáno 01 07 89

(75)

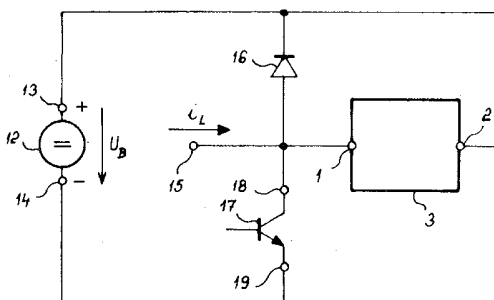
Autor vynálezu

PATOČKA MIROSLAV ing., BRNO

(54)

Zapojení spínače s vypínatelným výkonovým
spínacím prvkem

Řešení se týká zapojení spínače s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem, jehož první elektroda je připojena na zápornou svorku zdroje stejnosměrného napětí a jehož druhá elektroda, která tvoří výstup spínače, je připojena na anodu nulové diody, jejíž katoda je připojena na kladnou svorku zdroje stejnosměrného napětí. Účelem zapojení je podstatně snížit výkonové ztráty, vznikající na vypínatelném výkonovém spínacím prvku při jeho vypínání a vyloučit ztráty vlastního odlehčovacího obvodu. Uvedeného účelu se dosáhne zejména využitím rezonančního děje při nabíjení kondenzátorů, uspořádaných v odlehčovacím dvou-pólu spínače.



Vynález se týká zapojení spínače s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem, jehož první elektroda je připojena na zápornou svorku zdroje stejnosměrného napětí a jehož druhá elektroda, která tvoří výstup spínače, je připojena na anodu nulové diody, jejíž katoda je připojena na kladnou svorku zdroje stejnosměrného napětí.

Spínač s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem slouží k pulsní regulaci elektrické energie ze zdroje stejnosměrného napětí do zátěže. Tento spínač je zapojen jako jednokvadrantový pulsní měnič, v němž vypínatelný výkonový spínací prvek, ošetřený odlehčovacím obvodem, omezujícím výkonové ztráty při vypínání, je zapojen směrem k záporné svorce zdroje stejnosměrného napětí a nulová dioda odlehčovacího obvodu je zapojena směrem ke kladné svorce zdroje stejnosměrného napětí.

Při spínání a vypínání vypínatelného výkonového spínacího prvku, například bipolárního a unipolárního výkonového tranzistoru nebo vypínatelného tyristoru typu GTO, dochází k jeho výkonovému přetěžování, způsobeného tím, že během vypínací i spínací doby se na vypínatelném výkonovém spínacím prvkem objevuje současně velké napětí i velký proud. U pulsních měničů, zpracovávajících velká napětí, řádově stovek voltů, a velké proudy, řádově desítek až stovek ampérů, vyvstávají tedy nutně problémy s výkonovou ztrátou na vypínatelném výkonovém spínacím prvkem, pracujícím při vysokých přepínacích kmitočtech v oblasti jednotek až desítek kilohertzů. Vypínatelný výkonový spínací prvek mívá obvykle vypínací dobu delší než spínací dobu a navíc bývá účelné z hlediska jeho spolehlivosti zajistit při vypnutí zánik

proudu, tekoucího vypínatelným výkonovým spínacím prvkem, dříve, než napětí na něm dosáhne příliš velké hodnoty. Potom pro některé aplikace postačí opatřit vypínatelný výkonový spínací prvek odlehčovacím obvodem, omezujícím výkonovou ztrátu pouze při jeho vypínání. Tato snaha vedla ke konstrukci nejrozličnějších odlehčovacích obvodů ztrátových, obsahujících kondenzátory, cívky, odpory, diody, případně i aktivní polovodičové prvky, ve kterých je energie kondenzátorů a cívek mařena ve zmíněných odporech. Jsou známy i bezetržtové odlehčovací obvody, které však obsahují velký počet prvků a u kterých jsou aktivní i pasivní polovodičové prvky extrémně namáhány a konečně i doby, potřebné k navrácení odlehčovacího obvodu do výchozího stavu, bývají dlouhé. U některých odlehčovacích obvodů, obsahujících více kondenzátorů, bývají tyto kondenzátory připojeny k vypínatelnému výkonovému spínacímu prvkem přes různý počet obvodových prvků, a tím mají zákonitě v sérii za sebou připojeny rozdílné parazitní indukčnosti, které nedovolují rovnoměrné rozdělení nabíjecích proudů těchto kondenzátorů.

Výše uvedené nedostatky jsou odstraněny u zapojení spínače s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že na druhou elektrodu vypínatelného výkonového spínacího prvku je připojen odlehčovací dvoupól svou první svorkou, který je svou druhou svorkou připojen na kladnou svorku zdroje stejnosměrného napětí.

Další podstata vynálezu spočívá v tom, že odlehčovací dvoupól je tvořen první diodou, jejíž katoda je připojena na anodu třetí diody, jejíž katoda je připojena přes cívku a s ní v sérii zapojený druhý kondenzátor na anodu první diody, jejíž katoda je připojena přes první kondenzátor na katodu druhé diody, jejíž anoda je připojena na spoj mezi cívku a druhým kondenzátorem, přičemž anoda první diody tvoří první svorku odlehčovacího dvoupólu a katoda druhé diody tvoří druhou svorku odlehčovacího dvoupólu.

Ještě další podstata vynálezu spočívá v tom, že odlehčovací dvoupól je tvořen první diodou, jejíž katoda je připojena na anodu třetí diody, jejíž katoda je připojena přes cívku

a s ní v sérii zapojený druhý kondenzátor na anodu první diody, jejíž katoda je připojena přes první kondenzátor na katodu druhé diody, jejíž anoda je připojena na spoj mezi cívkou a druhým kondenzátorem a jejíž katoda je dále připojena přes odpor na katodu čtvrté diody, jejíž anoda je připojena na katodu třetí diody, přičemž anoda první diody tvoří první svorku odlehčovacího dvoupólu a katoda druhé diody tvoří druhou svorku odlehčovacího dvoupólu.

Ještě další podstata vynálezu pak spočívá v tom, že odlehčovací dvoupól je tvořen první diodou, jejíž katoda je připojena přes cívku na anodu třetí diody, jejíž katoda je připojena přes druhý kondenzátor na anodu první diody, ke které je dále připojena anoda čtvrté diody, jejíž katoda je připojena přes odpor na anodu třetí diody, jejíž katoda je připojena na anodu druhé diody, jejíž katoda je připojena přes první kondenzátor na katodu první diody, přičemž anoda první diody tvoří první svorku odlehčovacího dvoupólu a katoda druhé diody tvoří druhou svorku odlehčovacího dvoupólu.

U řešení zapojení podle vynálezu je spínač s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem vybaven odlehčovacím dvoupólem, který je sám o sobě bezetrátový a významně omezuje ztráty na vypínatelném výkonovém spínacím prvku při jeho vypínání. Výhodou rovněž je, že při vypínání vypínatelného výkonového spínacího prvku přestává proud zátěže téci tímto vypínatelným výkonovým spínacím prvkem a začíná protékat prvním kondenzátorem přes první diodu a druhým kondenzátorem přes druhou diodu do kladné svorky zdroje stejnosměrného napětí. První kondenzátor i druhý kondenzátor mají stejně velkou kapacitu a protože proud protéká přes odlehčovací dvoupól dvěma elektricky i prostorově shodnými paralelními cestami, vždy přes shodný počet prvků, které prakticky mají i stejnou parazitní indukčnost, je jeho rozdělení při průtoku prvním kondenzátorem a druhým kondenzátorem rovnoměrné. Za velkou výhodu lze rovněž považovat i skutečnost, že při vypnutí vypínatelného výkonového spínacího prvku pracují vlastně první kondenzátor i druhý kondenzátor paralelně, tudíž je jejich efektivní kapacita dvojnásobná a naopak při sepnutí

vypínatelného výkonového spínacího prvku dochází k nabíjení těchto kondenzátorů sinusovým rezonančním proudovým půlkmitem přes třetí diodu a cívku tak, že první kondenzátor i druhý kondenzátor jsou zapojeny v sérii a jejich výsledná kapacita je tedy poloviční oproti kapacitě každého jednotlivého kondenzátoru. Výsledkem je velmi výhodný poměr efektivní kapacity při vypnutí vůči efektivní kapacitě při sepnutí o velikosti čtyři ku jedné a tudíž je minimalizována amplituda sinusového rezonančního proudového půlkmitu při zachování krátké doby tohoto půlkmitu. Proto i přídatné proudové namáhání vypínatelného výkonového spínacího prvku tímto sinusovým rezonančním proudovým půlkmitem je malé. Další výhodou zapojení spínače podle vynálezu je případné použití čtvrté diody a odporu v odlehčovací dvoupólu, které zajistí zmaření energie, nashromážděné v cívce vlivem zotavovacího proudu třetí diody při ukončení sinusového rezonančního proudového půlkmitu. Tím je chráněna třetí dioda, ve které by jinak byla tato energie mařena. Vzhledem k tomu, že zotavovací proud třetí diody je však řádově menší, než amplituda sinusového rezonančního proudového půlkmitu, je i parazitní energie cívky, způsobená tímto proudem, tak malá, že přítomnost odporu nenarušuje princip bezeztrátovosti odlehčovacího dvoupólu.

Na připojených výkresech jsou znázorněny příklady provedení spínače s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem v zapojení podle vynálezu, přičemž na obr. 1 je znázorněno celkové zapojení spínače, obr. 2 ukazuje základní variantu zapojení odlehčovacího dvoupólu, obr. 3 znázorňuje upravenou variantu zapojení odlehčovacího dvoupólu a obr. 4 představuje jinou možnou upravenou variantu zapojení odlehčovacího dvoupólu.

Spínač v zapojení podle vynálezu je tvořen vypínatelným výkonovým spínacím prvkem 17, jehož první elektroda 18 je připojena na zápornou svorku 14 zdroje 12 stejnosměrného napětí U_B . Tento vypínatelný výkonový spínací prvek 17 může být představen například alespoň jedním bipolárním tranzistorem typu NPN, jak je vyznačeno na obr. 1 nebo jím mohou být jakékoliv jiné výkonové spínací prvky, vypínané řídicím signálem, jako napří-

klad bipolární tranzistory typu PNP, unipolární tranzistory, jejich paralelní řazení nebo jejich kombinace v Darlingtonově zapojení, vypínatelné tyristory typu GTO, popřípadě i mechanické kontaktní spínače a podobně. Druhá elektroda 19 vypínatelného výkonového spínacího prvku 17, která současně představuje výstup 15 spínače, je připojena na anodu nulové diody 16, která je pak svou katodou připojena na kladnou svorku 13 zdroje 12 stejnosměrného napětí U_B . Jak je dále patrné podle obr. 1, je na druhou elektrodu 19 vypínatelného výkonového spínacího prvku 17 připojen svou první svorkou 1 odlehčovací dvoupól 3, který je svou druhou svorkou 2 připojen na kladnou svorku 13 zdroje 12 stejnosměrného napětí U_B . V základní variantě zapojení odlehčovacího dvoupólu 3, znázorněné na obr. 2, je tento odlehčovací dvoupól 3 tvořen první diodou 4, která je svou katodou připojena na anodu třetí diody 8. Třetí dioda 8 je svou katodou připojena přes cívku 9 a s ní v sérii zapojený druhý kondenzátor 6 na anodu první diody 4, která je svou katodou připojena přes první kondenzátor 5 na katodu druhé diody 7. Druhá dioda 7 je pak svou anodou připojena na spoj mezi cívkou 9 a druhým kondenzátorem 6. U této základní varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3 představuje anoda první diody 4 první svorku 1 odlehčovacího dvoupólu 3 a katoda druhé diody 7 druhou svorku 2 odlehčovacího dvoupólu 3.

U upravené varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3, znázorněné na obr. 3, je tento odlehčovací dvoupól 3 tvořen první diodou 4, která je svou katodou připojena na anodu třetí diody 8. Třetí dioda 8 je svou katodou připojena přes cívku 9 a s ní v sérii zapojený druhý kondenzátor 6 na anodu první diody 4, která je svou katodou rovněž připojena přes první kondenzátor 5 na katodu druhé diody 7. Druhá dioda 7 je připojena svou anodou na spoj mezi cívkou 9 a druhým kondenzátorem 6, přičemž svou katodou je rovněž připojena přes odpor 11 na katodu čtvrté diody 10. Čtvrtá dioda 10 je pak svou anodou připojena na katodu třetí diody 8. Stejně jako u základní varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3 představuje i zde anoda první diody 4 první svorku 1 odlehčovacího dvoupólu 3 a katoda druhé diody 7 druhou svorku 2 odlehčovacího dvoupólu 3.

U jiné možné upravené varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3, která je vyznačena na obr. 4, je tento odlehčovací dvoupól 3 tvořen první diodou 4, která je svou katodou připojena přes cívkou 9 na anodu třetí diody 8. Třetí dioda 8 je připojena svou katodou přes druhý kondenzátor 6 na anodu první diody 4, ke které je současně připojena i anoda čtvrté diody 10. Čtvrtá dioda 10 je svou katodou připojena přes odpor 11 na anodu třetí diody 8, která je svou katodou připojena na anodu druhé diody 7. Druhá dioda 7 je pak svou katodou připojena přes první kondenzátor 5 na katodu první diody 4. Obdobně jako u předchozích variant vytvoření zapojení odlehčovacího dvoupólu 3 představuje rovněž zde anoda první diody 4 první svorku 1 odlehčovacího dvoupólu 3 a katoda druhé diody 7 druhou svorku 2 odlehčovacího dvoupólu 3.

Princip činnosti spínače s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem 17 v zapojení podle vynálezu je následující.

Předpokládá se, že v zapojení spínače s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem 17 je užit odlehčovací dvoupól 3 v jeho základní variantě zapojení, vyznačené na obr. 2. Dále se předpokládá, že zdroj 12 stejnosměrného napětí U_B má schopnost energii v sobě též akumulovat a že zátěž spínače má odporově induktivní charakter s případným v sérii zapojeným zdrojem proměnného napětí.

Za výchozí stav se považuje stav, kdy vypínatelný výkonový spínací prvek 17 je sepnut a proud i_L zátěže vtéká směrem, naznačeným na obr. 1, přes vstup 15 spínače a sepnutý vypínatelný výkonový spínací prvek 17 do záporné svorky 14 zdroje 12 stejnosměrného napětí U_B . První kondenzátor 5 je nabit na napětí o velikosti U_B v takové polaritě, že jeho kladná elektroda je spojena s druhou svorkou 2 odlehčovacího dvoupólu 3 a druhý kondenzátor 6 je také nabit na napětí o velikosti U_B v takové polaritě, že jeho kladná elektroda je připojena na anodu druhé diody 7. Třetí dioda 8 je tedy v tomto okamžiku pólována napětím o velikosti U_B v závěrném směru. První kondenzátor 5 a druhý kondenzátor 6 mají oba stejně velkou kapacitu a v okamžiku

vypnutí vypínatelného výkonového spínacího prvku 17 se tedy proud i_L zátěže rozdělí na dvě poloviny, z nichž jedna vybíjí první kondenzátor 5 přes první diodu 4 a druhá vybíjí druhý kondenzátor 6 přes druhou diodu 7 z původního napětí o velikosti U_B na nulové napětí. V okamžiku vypnutí vypínatelného výkonového spínacího prvku 17 převezmou tedy první kondenzátor 5 i druhý kondenzátor 6 celý proud i_L zátěže, a to až do okamžiku, kdy se zcela vybijí na nulové napětí a vedení proudu i_L zátěže převezme nulová dioda 16. Budou-li mít první kondenzátor 5 i druhý kondenzátor 6 dostatečně velkou kapacitu vzhledem k proudu i_L zátěže a k délce vypínací doby vypínatelného výkonového spínacího prvku 17, pak lze pomocí nich zajistit, že proud i_L zátěže, protékající vypínatelným výkonovým spínacím prvkem 17, zanikne při jeho vypnutí dříve, než napětí na něm vzroste na příliš velkou hodnotu. Tím budou velmi výrazně omezeny výkonové ztráty na vypínatelném výkonovém spínacím prvku 17 při jeho vypínání. První kondenzátor 5 i druhý kondenzátor 6 zůstávají vybity po celou dobu, kdy je vypnut vypínatelný výkonový spínací prvek 17. K jejich novému nabití na napětí o velikosti U_B dojde v okamžiku opětného sepnutí vypínatelného výkonového spínacího prvku 17 následujícím způsobem.

První dioda 4 a druhá dioda 7 jsou pólovány v závěrném směru napětím o velikosti U_B a v dalším ději se neuplatní. Vypínatelný výkonový spínací prvek 17 svým sepnutím tím způsobí připojení sériového rezonančního obvodu, tvořeného prvním kondenzátorem 5, třetí diodou 8, cívkou 9 a druhým kondenzátorem 6, na zdroj 12 stejnosměrného napětí U_B . Tímto rezonančním obvodem proteče sinusový rezonanční proudový půlkmit, po jehož ukončení budou první kondenzátor 5 i druhý kondenzátor 6 nabity na napětí o velikosti U_B , neboť během rezonančního děje jsou první kondenzátor 5 a druhý kondenzátor 6 zapojeny v sérii a mají stejnou velikost kapacity. Třetí dioda 8 ukončuje rezonanční děj právě v jeho půlperiodě a nedovoluje změnu směru toku proudu v rezonančním obvodu. První kondenzátor 5 a druhý kondenzátor 6 zůstávají nabity na napětí o velikosti U_B a jsou připraveny k novému cyklu.

Vzhledem k tomu, že reálná třetí dioda 8 má vždy určitou konečnou dobu zotavení v závěrném směru, dovolí během této doby protékání proudu v závěrném směru. V okamžiku jejího zotavení a uzavření je však v cívce 9 akumulována určitá energie, způsobená špičkovou hodnotou zotavovacího proudu třetí diody 8. Pokud nemá dojít k maření této, byť i malé, energie ve třetí diodě 8 a pokud se má současně zabránit jejímu přídavnému napětovému namáhání, pak místo odlehčovacího dvoupólu 3 v jeho základní variantě zapojení podle obr. 2, lze použít buď upravené varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3 podle obr. 3, popřípadě jiné možné upravené varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3 podle obr. 4. Funkce těchto odlehčovacích dvoupólů 3 je zcela stejná, jsou však vybaveny čtvrtou diodou 10 a odporem 11, ve kterém dochází ke zmaření energie, nashromážděné v cívce 9 a způsobené zotavovacím proudem třetí diody 8. U upravené varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3 podle obr. 3 dochází k demagnetizaci cívky 9 tak, že proud protéká cestou od první svorky 1 odlehčovacího dvoupólu 3 přes druhý kondenzátor 6, cívku 9, čtvrtou diodu 10 a odpor 11 na druhou svorku 2 odlehčovacího dvoupólu 3. U jiné možné upravené varianty zapojení odlehčovacího dvoupólu 3 podle obr. 4 dochází k demagnetizaci cívky 9 tak, že proud protéká cestou od první svorky 1 odlehčovacího dvoupólu 3 přes čtvrtou diodu 10, odpor 11, cívku 9 a první kondenzátor 5 na druhou svorku 2 odlehčovacího dvoupólu 3. Vzhledem k tomu, že špička zotavovacího proudu třetí diody 8 je řádově menší, než amplituda sinusového rezonančního proudového půlkmitu, je energie, mařená v odporu 11, přibližně o dva řády menší, než energie, soustředěná v prvním kondenzátoru 5 a druhém kondenzátoru 6. Použití odporu 11 tedy nenarušuje princip bezeztrátovosti odlehčovacího dvoupólu 3.

Vypínatelný výkonový spínací prvek 17 je sice při sepnutí přídavně proudově namáhán sinusovým rezonančním proudovým půlkmitem, ale vzhledem k tomu, že v době trvání sinusového rezonančního proudového půlkmitu jsou první kondenzátor 5 a druhý kondenzátor 6 zapojeny v sérii, kdy je jejich efektivní kapacita poloviční, přičemž v době vypínání vypínatelného výkonového

vého spínacího prvku 17 pracují první kondenzátor 5 a druhý kondenzátor 6 paralelně, kdy je jejich efektivní kapacita dvojnásobná, je pak poměr jejich efektivních kapacit při vybíjení vůči nabíjení čtyři ku jedné, což zajišťuje minimalizaci amplitudy a doby trvání sinusového rezonančního proudového půlkmitu. Proto je přídatné proudové namáhání vypínatelného výkonového spínacího prvku 17 velmi malé i při krátkém trvání sinusového rezonančního proudového půlkmitu. Krátké trvání sinusového rezonančního proudového půlkmitu je důležité i z toho hlediska, že určuje minimální potřebnou dobu sepnutí vypínatelného výkonového spínacího prvku 17.

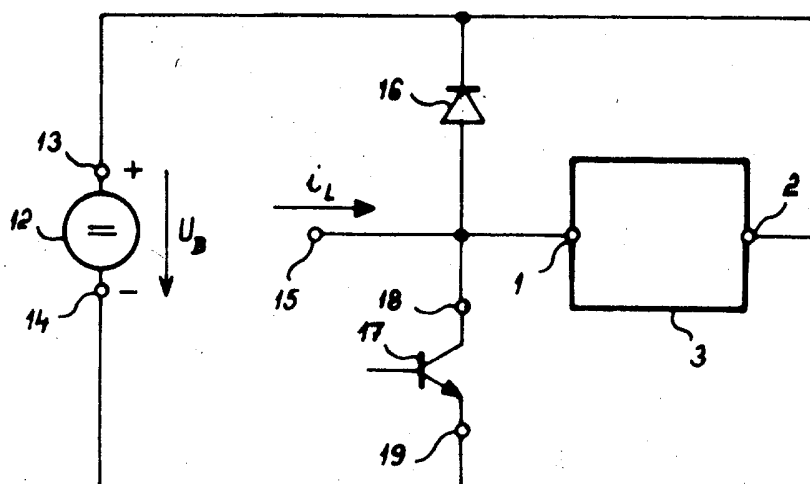
PŘEDMĚT VYNÁLEZU

254 062

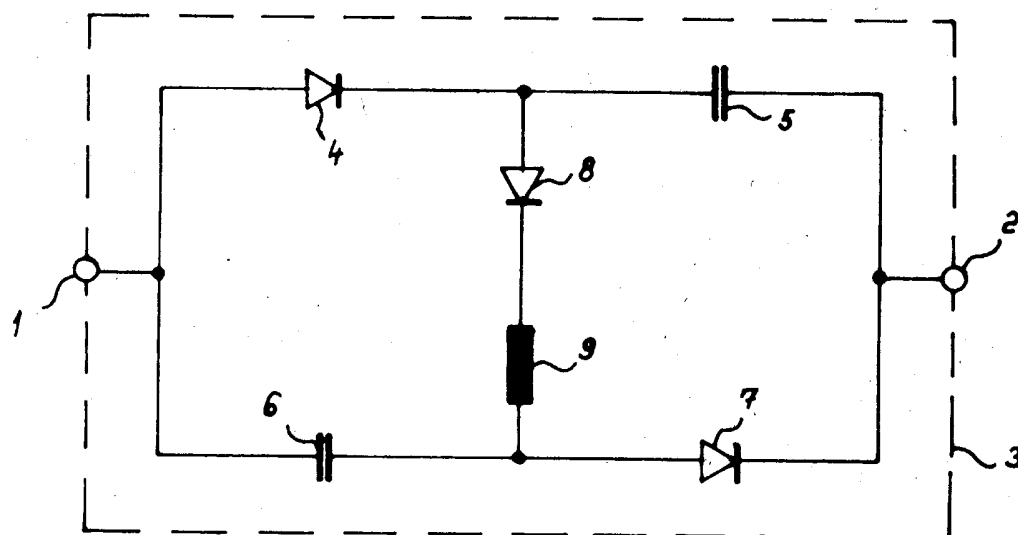
1. Zapojení spínače s vypínatelným výkonovým spínacím prvkem, jehož první elektroda je připojena na zápornou svorku zdroje stejnosměrného napětí a jehož druhá elektroda, která tvoří výstup spínače, je připojena na anodu nulové diody, jejíž katoda je připojena na kladnou svorku zdroje stejnosměrného napětí, vyznačující se tím, že na druhou elektrodu (19) vypínatelného výkonového spínacího prvku (17) je připojen odlehčovací dvoupól (3) svou první svorkou (1), který je svou druhou svorkou (2) připojen na kladnou svorku (13) zdroje (12) stejnosměrného napětí (U_B).
2. Zapojení podle bodu 1, vyznačující se tím, že odlehčovací dvoupól (3) je tvořen první diodou (4), jejíž katoda je připojena na anodu třetí diody (8), jejíž katoda je připojena přes cívku (9) a s ní v sérii zapojený druhý kondenzátor (6) na anodu první diody (4), jejíž katoda je připojena přes první kondenzátor (5) na katodu druhé diody (7), jejíž anoda je připojena na spoj mezi cívku (9) a druhým kondenzátorem (6), přičemž anoda první diody (4) tvoří první svorku (1) odlehčovacího dvoupólu (3) a katoda druhé diody (7) tvoří druhou svorku (2) odlehčovacího dvoupólu (3).
3. Zapojení podle bodu 1, vyznačující se tím, že odlehčovací dvoupól (3) je tvořen první diodou (4), jejíž katoda je připojena na anodu třetí diody (8), jejíž katoda je připojena přes cívku (9) a s ní v sérii zapojený druhý kondenzátor (6) na anodu první diody (4), jejíž katoda je připojena přes první kondenzátor (5) na katodu druhé diody (7), jejíž anoda je připojena na spoj mezi cívku (9) a druhým kondenzátorem (6) a jejíž katoda je dále připojena přes odpor (11) na katodu čtvrté diody (10), jejíž anoda je připojena na katodu třetí diody (8), přičemž anoda první diody (4) tvoří první svorku (1) odlehčovacího dvoupólu (3) a katoda druhé diody (7) tvoří druhou svorku (2) odlehčovacího dvoupólu (3).

4. Zapojení podle bodu 1, vyznačující se tím, že odlehčovací dvoupól (3) je tvořen první diodou (4), jejíž katoda je připojena přes cívku (9) na anodu třetí diody (8), jejíž katoda je připojena přes druhý kondenzátor (6) na anodu první diody (4), ke které je dále připojena anoda čtvrté diody (10), jejíž katoda je připojena přes odpor (11) na anodu třetí diody (8), jejíž katoda je připojena na anodu druhé diody (7), jejíž katoda je připojena přes první kondenzátor (5) na katodu první diody (4), přičemž anoda první diody (4) tvoří první svorku (1) odlehčovacího dvoupólu (3) a katoda druhé diody (7) tvoří druhou svorku (2) odlehčovacího dvoupólu (3).

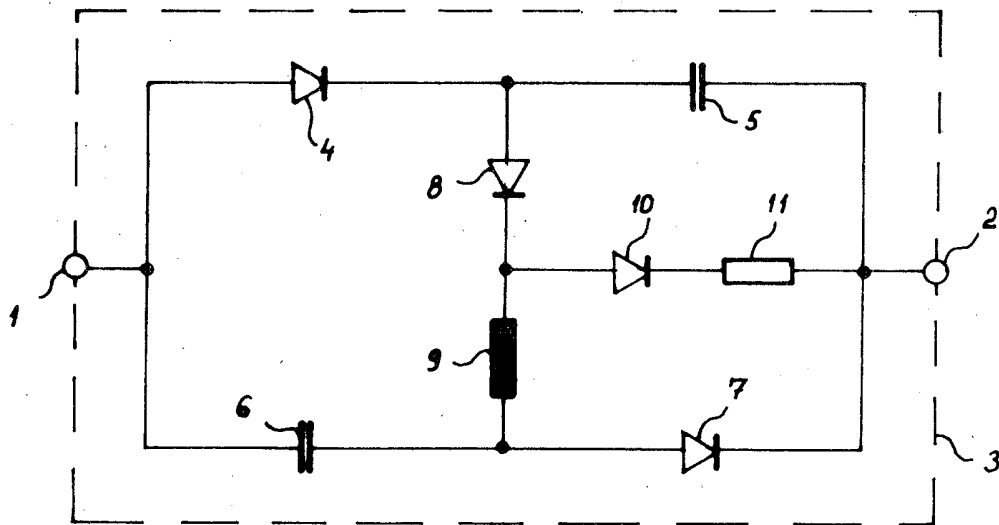
2 výkresy



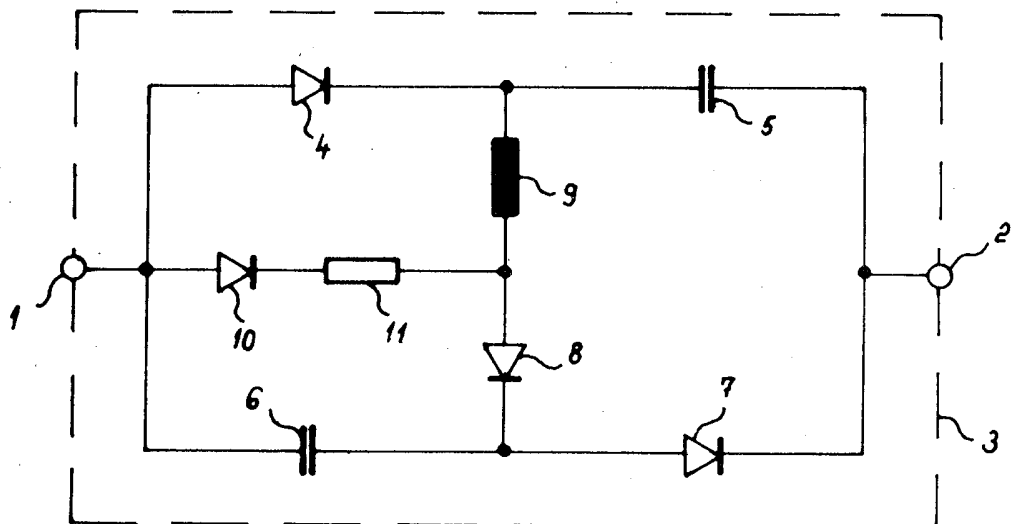
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4