



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

208969

(11)

(B1)

(51) Int. Cl.³
H 02 P 13/16

(22) Přihlášeno 31 03 79

(21) (PY 2173-79)

(40) Zveřejněno 30 01 81

(45) Vydáno 01 02 84

(75)

Autor vynálezu

TICHMENĚV BORIS NIKOLAJEVIČ, KAMENĚV ANDREJ
VASILJEVIČ, RUBČINSKIJ ZIGMUND MOJSEJEVIČ, MOSKVA,
JAGOLKOVSKIJ ANTON KONSTANTINOVICH a
DOCENKO ALEXANDR PETROVIČ, RIGA (SSSR)

(54) Způsob regulace polovodičového usměrňovače

Vynález se týká způsobu regulace elektrických polovodičových usměrňovačů.

Vynález je možno s výhodou použít v polovodičových usměrňovačích střídavého proudu dopravních prostředků dálkové nebo příměstské železnice, jakož i v pomocných trafostanicích napájecích polovodičové usměrňovače pro elektrická přenosová vedení a v usměrňovacích zařízeních napájecích rozličné spotřebiče stejnosměrného a střídavého proudu.

Je znám způsob fázové regulace polovodičového usměrňovače, například podle NSR patentu č. 1 244 941, spočívající v tom, že v každé půlperiodě napájecího napětí se řídicí impulsy přivádějí na hlavní ventily usměrňovače se zpožděním o úhel regulovatelný v hranicích této půlperiody. Namísto poloviční sinusoidy transformátorového napětí se přivádí jen část zatěžovacího napětí, což určuje odpovídající hodnotu usměrňovaného napětí. Uvedený způsob, realizovaný ve známých zapojeních, nezajišťuje postačující hodnotu účinnosti a vede ke zvýšenému zkreslení proudu primárního proudu, zesílení vyšších harmonických slyšitelné frekvence, které mají vliv na spojovací vedení.

Dále je znám způsob regulace polovodičového proudového usměrňovače, například podle NSR patentu č. 847 773, v němž je použito částečného tlumení elektrického proudu v transformátoru

a kompenzace jalového výkonu napájecí sítě pomocí impulsových prepínačů ventilů. Uvedený způsob spočívá v tom, že v každé půlperiodě napájecího napětí jsou fázově regulované řídicí impulsy přiváděny na hlavní ventily vlastního usměrňovače a na konci půlperiody napájecího napětí na tlumicí ventily vlastního usměrňovače. V tomto případě je ventilový usměrňovač proveden v podobě sériového zapojení z jednofázových nesymetrických polořízených usměrňovacích můstků. Přitom je část můstku vybavena komutačními kondensátory, komutačními tlumivkami a elektrickými ventily. Tyto prvky uskutečňují vynucené přerušování děliče celkového zatěžovacího proudu transformátoru, který protéká přes uvedený můstek, jakož i částečnou kompenzaci jalového výkonu transformátoru a drážní sítě. Přítomnost uvedených prvků vede ke zvětšení jejich rozměrů a hmotnosti.

Popsané způsoby regulace polovodičového usměrňovače se používají u ventilových usměrňovačů, v nichž jsou reaktivní prvky akumulující energii, například kondensátory a tlumivky, vždy odděleny od napájecího zdroje pomocí nelineárních pomocných prvků – elektrických ventilů. V důsledku toho jsou nuceny přerušována přirozená spojitá kolísání elektromagnetické energie, a napětí na těchto prvcích stoupají na hodnoty,

kteřé podstatně překračují amplitudy napájecího napětí, což způsobuje zvětšení instalovaného výkonu ventilů a zesílení izolace. Navíc je nuceně přerušování spojitých elektromagnetických procesů provázeno nárazovým kolísáním v drážní síti, což zvětšuje působení na spojová vedení.

Je znám rovněž způsob regulace polovodičového usměrňovače například podle autorského osvědčení SSSR č. 481 474, založený na využití kolísavého procesu v kondenzátoru připojeném přímo na svorkách napájecího zdroje usměrňovače, tj. paralelně k sekundárnímu vinutí napájecího transformátoru. Uvedený způsob spočívá v tom, že v každé půlperiodě napájecího napětí jsou fázově regulované řídicí impulsy opakovaně přiváděny na hlavní ventily usměrňovače a na tlumicí ventily usměrňovače v průběhu celé půlperiody napájecího napětí.

V uvedeném způsobu je dosaženo regulace polovodičového usměrňovače několikanásobným zapínáním a vypínáním stejných ventilů usměrňovače. Přitom nepředstavují časové intervaly mezi přiváděním fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní a tlumicí ventily žádnou konstantní hodnotu, ale závisí na hodnotě zatížení, což vyžaduje na druhé straně použití speciálních následných zařízení v systému automatického ovládání, která komplikují systém a snižují spolehlivost práce usměrňovače.

Několikanásobná komutace elektrického proudu v průběhu jedné půlperiody pomocí stejných ventilů působí zvýšené ztráty výkonu ve ventilech a kondenzátoru a vyžaduje komplikovanou ochrannou zařízení usměrňovače. Deformace tvaru křivky primárního proudu vedou při poruchách v řízení ke snížení účinnosti a k zesílení rušivých vlivů na spojová vedení.

Vynález si klade za úkol vytvořit takový způsob, při kterém sled působení na ventily usměrňovače zajistí redukci ztrát výkonu a zvýšení spolehlivosti regulace polovodičového usměrňovače.

Toho je dosaženo způsobem regulace polovodičového usměrňovače, který je napájen transformátorem, k jehož sekundárnímu vinutí je paralelně zapojeno sériové zapojení z kondenzátoru a tlumivky přemostěné elektronickým spínačem, tento usměrňovač obsahuje alespoň jeden jednofázový ventilový můstek, na který je připojeno zatížení, přičemž podstata způsobu spočívá v tom, že v každé půlperiodě napájecího napětí se přivádějí na hlavní a tlumicí ventily usměrňovače fázově regulované řídicí impulsy, přičemž fázově regulované řídicí impulsy se přivádějí během celé půlperiody napájecího napětí na hlavní ventily usměrňovače podle vynálezu střídavě v mezích první půlperiody od vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru, vznikajících v okamžiku přivedení fázově regulovaných řídicích impulsů, zatímco fázově regulované řídicí impulsy ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí se přivádějí na tlumicí

vznikajících v okamžiku přivedení fázově regulovaných řídicích impulsů.

Je účelné, aby při regulaci polovodičového usměrňovače, který obsahuje dvě skupiny jednofázových ventilových můstků, v nichž každá má shodný počet ventilových můstků, na které je připojeno shodné zatížení, byly fázově regulované řídicí impulsy přiváděny během celé půlperiody napájecího napětí střídavě na hlavní ventily můstků jedné skupiny a potom na hlavní ventily můstků druhé skupiny s intervalem mezi nimi rovným trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru a fázově regulované řídicí impulsy ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí střídavě na tlumicí ventily můstků jedné skupiny a na tlumicí ventily můstků druhé skupiny s intervalem mezi nimi rovným trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru.

Je velmi účelné, aby pro úplné využití elektrického zařízení ve vynucených režimech při částečném výpadku, během regulace polovodičového usměrňovače elektrického zařízení, které obsahuje množství jednofázových ventilových můstků, na které je připojeno shodné zatížení, byly fázově regulované řídicí impulsy přiváděny v průběhu celé půlperiody napájecího napětí střídavě na hlavní ventily každého z můstků v rozestupech rovných $2/3$ trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru mezi impulsy přiváděnými na první a druhý ventilový můstek a impulsy přiváděnými na předposlední a poslední můstek a v intervalech rovných $1/3$ trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru mezi impulsy přiváděnými na střední ventilové můstky a fázově regulovanými řídicími impulsy ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí rovněž střídavě na tlumicí ventily každého z můstků v intervalech rovných $2/3$ trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru mezi impulsy přiváděnými na první a druhý ventilový můstek a impulsy přiváděnými na předposlední a poslední ventilový můstek a v rozestupech rovných $1/3$ trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru mezi impulsy přiváděnými na střední ventilové můstky.

Je rovněž účelné, aby při regulaci polovodičového usměrňovače, který je napájen transformátorem, jehož sekundární vinutí a kondenzátor jsou rozděleny do dvou shodných částí, přičemž části sekundárního vinutí jsou zapojeny paralelně, a který obsahuje jeden jednofázový ventilový můstek, který má dvě větve, jejichž středy jsou připojeny na stejné sekundární vinutí, a jednu větev, jejíž střed je připojen na střed sekundárního vinutí a kondenzátoru, byly fázově regulované řídicí impulsy podle vynálezu přiváděny v průběhu celé půlperiody napájecího napětí střídavě na hlavní ventily druhé větve ventilového můstku ve vzájemném intervalu rovném trvání půlperiody

polovině půlperiody napájecího napětí střídavě na tlumicí ventily druhé větve ventilového můstku ve vzájemném intervalu rovném trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru.

Je účelné, aby pro zabránění indukčních ztrát napětí v transformátoru v okamžiku přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní ventily můstků usměrňovače byly fázově regulované řídicí impulsy dodatečně přiváděny na tlumicí ventily protilehlých větví ventilových můstků usměrňovače.

Je, rovněž účelné, aby k odstranění ovlivnění práce usměrňovače vnějšími elektrickými spotřebiči v okamžiku přivádění původního fázově regulovaného řídicího impulsu na hlavní ventily ventilového usměrňovače a v okamžiku přivádění původního fázově regulovaného řídicího impulsu na tlumicí ventily ventilového usměrňovače byly přiváděny fázově regulované řídicí impulsy dodatečně na elektronický přepínač ventilového usměrňovače.

Další cíle a výhody vynálezu jsou zřejmé podle následujícího popisu způsobu, podle příkladů jeho provedení a výkresů, na nichž představuje obr. 1 elektrické principiální zapojení první varianty polovodičového usměrňovače se dvěma skupinami ventilových můstků k provedení způsobu podle vynálezu, obr. 2a, 2b, 2c časové diagramy napětí a proudů v prvcích ventilového usměrňovače v usměrňovacím režimu v meziregulačním stupni podle vynálezu, obr. 3a, 3b, 3c časové diagramy napětí a proudů v prvcích ventilového usměrňovače v usměrňovacím režimu ve vstupním a koncovém regulačním stupni podle vynálezu, obr. 4a, 4b, 5c časové diagramy pro napětí a proudy v prvcích ventilového usměrňovače ve střídavém režimu podle vynálezu, obr. 5 elektrické principiální zapojení druhé varianty polovodičového usměrňovače se dvěma skupinami ventilových můstků, k provedení způsobu podle vynálezu, obr. 6 elektrické principiální zapojení třetí varianty polovodičového usměrňovače se dvěma skupinami ventilových můstků, k provedení způsobu podle vynálezu, obr. 7 elektrické principiální zapojení polovodičového usměrňovače obsahujícího množství ventilových můstků k provedení způsobu podle vynálezu, obr. 8a, 8b, 8c časové diagramy napětí a proudů v prvcích polovodičového usměrňovače znázorněného na obr. 7, podle vynálezu, obr. 9 elektrické principiální zapojení polovodičového usměrňovače, majícího jeden ventilový můstek, k provedení způsobu podle vynálezu, obr. 10a, 10b, 10c, 10d, 10e časové diagramy napětí a proudů ve vinutích transformátoru a v kondenzátoru, k provedení polovodičového usměrňovače znázorněného na obr. 9, podle vynálezu obr. 11a, 11b, 11c, 11d, 11e, 11f, 11k časové diagramy napětí a proudů v prvcích polovodičového usměrňovače v usměrňovacím režimu, znázorněného na obr. 9, podle vynálezu, obr. 12a, 12b, 12c, 12d, 12e, 12f, 12k časové diagramy napětí a proudů v prvcích polovodičového usměr-

ňovače ve střídačovém režimu znázorněného na obr. 9, podle vynálezu, obr. 13a, 13b, 13c časové diagramy napětí a proudů ve vinutích transformátoru a v kondenzátoru při provedení polovodičového usměrňovače, zobrazeného na obr. 4, provádějícího postup zajišťující zabránění ztrátám napětí v transformátoru, podle vynálezu, a obr. 14a, 14b, 14c časové diagramy napětí a proudů v prvcích polovodičového usměrňovače v případě odstranění vlivu vnějších proudových spotřebičů, podle vynálezu.

Navrhovaný způsob regulace polovodičového usměrňovače je prováděn ventilovým usměrňovačem 1 (obr. 1) napájeným transformátorem 2. Paralelně k sekundárnímu vinutí 3 transformátoru 2 je zapojen do série kondenzátor 4 a tlumivka 5. Tlumivka 5 je překlenuta elektronickým spínačem 6 sestávajícím z antiparalelně zapojených ventilů 7.

Způsob regulace polovodičového usměrňovače se provádí ventilovým usměrňovačem 1 obsahujícím skupinu ventilových můstků 9, 9' a skupinu 10 ventilových můstků 11, 11'. Počet můstků ve skupinách 8 a 10 může být libovolný a musí být shodný. Celkový počet ventilových můstků v usměrňovači 1 je sudý, a ne menší než dva.

Dvě můstkové větve můstků 9, 9' a 11, 11' mají hlavní ventily 12, 13 provedené v podobě říditelných elektrických ventilů. Dvě ostatní můstkové větve můstků 9, 9', 11, 11', jsou provedeny jako plně říditelné a mají s výjimkou hlavních ventilů 14, 15 řetězec 16 zapojený paralelně k hlavním ventilům 14, 15. Řetězec 16 představuje sériové zapojení komutačního kondenzátoru 17, komutační tlumivky 18 a pomocné diody 19. Navíc obsahují tyto můstkové větve tlumicí ventily 20, 21, zapojené antiparalelně k pomocným diodám 19 řetězcu 16.

Paralelně ke každému z ventilových můstků 9, 9' a 11, 11' obou skupin 8 a 10 se nachází zátěž 22, která má podobu libovolně navzájem spojených drážních motorů a vyhlazovací tlumivky, která je pro celou skupinu motorů společná nebo je individuální pro každý proudový obvod motorů (na obrázku není znázorněno).

Regulace pracuje jak v trakčním režimu, kde ventilový usměrňovač 1 vystupuje jako usměrňovací, tak i v brzdicím režimu se zpětným získáváním proudu elektrickými brzdými prostředky, kde ventilový usměrňovač 1 působí jako střídačový usměrňovač.

Regulační způsob polovodičového usměrňovače 1 v usměrňovacím režimu probíhá následujícím způsobem.

Sekundárním vinutím 3 transformátoru 2 protéká sumární proud I_d všech můstků 9, 9', 11, 11', usměrňovače 1.

Při úhlu α fázové regulace (obr. 2a) jsou obvody proudů zátěží 22, podporované neznázorněnými vyhlazovacími tlumivkami zátěží 22, uzavřeny v příslušné půlperiodě napájecího napětí až do okamžiku t_1 v můstcích 9, 9', 11, 11' přes hlavní

ventily 12, 13. V obvodu vinutí 3 transformátoru 2 a kondenzátoru 4 protéká kapacitní proud $i_3 = i_4$ (obr. 2b, 2c), zatímco se sinusově mění napětí $U_{3,4}$ (obr. 2a) ve vinutí 3 a v kondenzátoru 4. Ke zjednodušení jsou procesy ve výkonovém proudovém obvodu popsány za předpokladu, že usměrněný proud I_d je ideálně vyhlazen.

V okamžiku t_1 jsou fázově regulované řídicí impulsy hlavních ventilů 15, 12 můstků 9, 9' přiváděny skupině 8 a ventilům 7 elektronického spínače 6. Protože transformátor 2 má induktivní odpor, uzavírá se obvod proudu zátěže 22 těchto můstků 9, 9', rovný polovičnímu celkovému proudu I_d , přes kondenzátor 4. V důsledku toho začíná jeho vybíjení. Tou mírou, jak se vybíjí kapacita kondenzátoru 4, stoupá proud i_3 v transformátoru 2. V okamžiku t_2 (obr. 2a), posunutém od okamžiku t_1 o čtvrtinu periody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4, vznikajících v okamžiku přivedení fázově regulovaných řídicích impulsů, uzavírá se obvod celkového proudu zatížení 22 můstků 9, 9', rovný $0,5 I_d$, přes sekundární vinutí 3 transformátoru 2. V tomto okamžiku však má napětí $U_{3,4}$ na kondenzátoru 4 minimální hodnotu a pod vlivem napájecího napětí sekundárního vinutí 3, překračujícího napětí na kondenzátoru 4, začíná se kondenzátor nabíjet. Proces vzrůstání proudu ve vinutí 3 pomalu pokračuje. Jestliže je opomenuto tlumení procesu kmitání na základě existence činných odporů, dosáhne přirůstající proud ve vinutí 3 v okamžiku t_3 odpovídajícím půlperiodě vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4 hodnoty I_d , tj. hodnoty celkového proudu zátěže 22 můstků 9, 9', 11, 11' obou skupin 8, 10 usměrňovače 1. Pro časový okamžik t_3 je charakteristický výskyt amplitudy první půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4. V tomto okamžiku dosáhne nabíjecí proud i_4 v kondenzátoru 4 hodnoty rovné $0,5 I_d$. V okamžiku t_3^* jsou fázově regulované řídicí impulsy přiváděny na hlavní ventily 12, 15 v můstcích 11, 11' skupiny 10 usměrňovače 1. Přitom je obvod proudu zátěží 22 můstků 11, 11', uzavřený až do okamžiku t_3 obvodem hlavních ventilů 12, 13 a rovný právě $0,5 I_d$, uzavřen v okamžiku t_3 přes sekundární vinutí 3 transformátoru 2, zatímco nabíjecí proud se přes kondenzátor 4 nedostaví. V důsledku odpojení proudu s kolísavým charakterem v kondenzátoru 4 v okamžiku t_3 uzavřou ventily 7 elektronického přepínače 6 a v obvodu kondenzátoru 4 začne působit tlumivka 5 jako zapojená.

K tlumení proudu v transformátoru 2 v mezích dotyčné půlperiody napájecího napětí je použit obrácený postup.

V okamžiku t_4 jsou fázově regulované řídicí impulsy přiváděny na tlumicí ventily 21 můstků 9, 9' skupiny 8 usměrňovače 1, na hlavní ventily 13 a ventily 7 elektronického spínače 6.

Proud zátěží 22 můstků 9, 9' skupiny 8, rovný polovičnímu celkovému proudu sekundárního vinutí 3, se uzavírá přes obvod hlavních ventilů 12, 13, zatímco se poloviční proud I_d sekundárního

vinutí 3 transformátoru 2 uzavírá přes kondenzátor 4, čímž je navozeno nabíjení jeho kapacity. Zvýšení napětí v kondenzátoru 4 je při tomto procesu nabíjení samo provázáno stále intenzivnějším poklesem proudu i_3 (obr. 2b, c) na transformátoru 2 a proudu i_4 na kondenzátoru 4. Ve čtvrtině periody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4, tj. v okamžiku t_5 , poklesne proud i_4 v kondenzátoru na hodnotu rovnou nule a proud i_3 v transformátoru 2 na hodnotu $0,5 I_d$. V tomto okamžiku t_5 dosáhne napětí na kondenzátoru 4 maxima, a protože přesáhne hodnotu napájecího napětí v sekundárním vinutí 3, pokračuje proces poklesu proudu v sekundárním vinutí 3 dále. V kondenzátoru 4 se objeví proud opačného směru a dojde k vybití kondenzátoru. V okamžiku t_6 , ve čtvrtině periody po časovém okamžiku t_5 , nebo v půlperiodě vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4. Počínaje okamžikem t_4 vybíjí se kondenzátor 4 a napětí potom dosáhne okamžitou hodnotu napětí vinutí 3, zatímco proud i_3 v transformátoru 2 poklesne na hodnotu vynuceného proudu. Proud zátěží 22 můstků 11, 11' skupiny 10 usměrňovače 1 se v tomto okamžiku přemísťuje z vinutí 3 do kondenzátoru 4. V tomto okamžiku t_6 (obr. 2a) jsou fázově regulované řídicí impulsy dodávány tlumicím ventilům 21 a hlavním ventilům 13 v můstcích 11, 11' skupiny 10. Proud zátěží 22 můstků 11, 11' má spojený obvod přes hlavní ventily 12, 13, přičemž tento proud v kondenzátoru 4 skokem poklesne, a tím přispěje k uzavření ventilu 7 elektronického spínače 6. Když okamžik t_6 souhlasí s bodem nulového průchodu křivky napájecího napětí, nevyžaduje to žádného nuceného uzavření hlavních ventilů 15 v můstcích 11, 11', protože jsou uzavřeny pod vlivem napětí vinutí 3 napájecího transformátoru 2 měnicího znaménko.

Při přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů jak na hlavní ventily 15, 12 v okamžicích t_1, t_3 , tak i na tlumicí ventily 21 v okamžicích t_4, t_6 je zajištěn bezstupňový, plynulý proces vzrůstu proudu v transformátoru 2 v mezích t_1 až t_3 a pokles proudu v mezích t_4 až t_6 , jejichž rozsah činí po jedné půlperiodě vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4.

V jiné půlperiodě napájecího napětí probíhá přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů obdobným způsobem na hlavní ventily 13, 14 můstků 9, 9', 11, 11', na tlumicí ventily 20 a ventily 7 elektronického spínače 6.

K regulaci hodnoty výstupního napětí usměrňovače 1 jsou časové okamžiky přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní ventily 12, 15 fázově posunuty ve směru počátku půlperiody napájecího napětí (obr. 3a, b, c).

Ke zvýšení energetických ukazatelů elektrických dopravních prostředků a neznázorněné drážní sítě jsou časové okamžiky přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů na tlumicí ventily 21 fázově posunuty od konce půlperiody napájecího napětí k jejímu středu, tj. v mezích druhé poloviny půlperiody napájecího napětí.

K realizaci střídačového režimu usměrňovače při brzdění elektrických dopravních prostředků se zpětným získáváním proudu musí být veškeré ventily 12, 13, 14, 15 a 20, 21 v usměrňovači 1 řízeny, zatímco řízení a regulace probíhá analogicky jako v usměrňovacím režimu.

Křivky změny napětí v sekundárním vinutí 3 transformátoru 2, jakož i průběhy primárního proudu i_3 a proudu i_4 v kondenzátoru 4 v různých stupních fázové regulace řídicích impulsů jsou znázorněny na obr. 4 pro usměrňovač podle obr. 1 při jeho práci ve střídačovém režimu. Způsob regulace ventilového usměrňovače 1 ve střídačovém režimu spočívá v následujícím.

Zde se přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní ventily 12, 15 můstků 9, 9', 11, 11' skupin 8, 10 usměrňovače 1 děje rovněž střídavě k časovým okamžikům t_1 , t_2 , přičemž v důsledku těchto operací je proudový obvod zátěží 22 oddělen od napájecí sítě střídavého proudu. Řídicí impulsy pro tlumicí ventily 20, 21 můstků 9, 9', 11, 11' jsou přiváděny v okamžicích t_3 , t_4 vždy na počátku půlperiody napájecího napětí. Přitom zůstává trvání každého z intervalů t_1 až t_2 a t_3 až t_4 rovněž rovno půlperiodě vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4.

Ve střídačovém režimu proběhne tedy uzavření hlavních ventilů 14, 15 v můstcích 9, 9' a 11, 11' vždy na počátku půlperiody napájecího napětí. Přitom proběhne přepojení proudu motorů – zátěží 22 – fungujících v tomto režimu jako generátory v proudovém obvodu hlavních ventilů 12, 13 můstků 9, 9' a 11, 11' ve fázově regulovaných časových okamžicích.

Ke zmenšení výstupních napětí usměrňovače jsou časové okamžiky t_1 až t_2 pro přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní ventily 14, 15 v můstcích 9, 9' a 11, 11' posunuty ve směru počátku půlperiody napájecího napětí a k jejímu zvětšení jsou posunuty ke konci, jak je to znázorněno šipkou na obr. 4a, b, c.

V důsledku takového způsobu regulace ventilů může polovodičový usměrňovač ve střídačovém režimu pracovat s předbíhajícím účínkem.

Způsob regulace polovodičového usměrňovače podle vynálezu je prováděn rovněž ventilovým usměrňovačem 1, v němž každá ze skupin 8, 10 (obr. 5) má po jednom můstku 9 a 11. Můstky 9 a 11 mají jen po jednom plně řízeném rameni můstku, Rameno můstku 9, spojené se svorkou A sekundárního vinutí 3, má hlavní ventil 14, tlumicí ventil 20 a řetězec 16. Ostatní ramena můstku 9 se skládají z hlavních ventilů 12, 13, 15. Větev ramene můstku 11 spojena se svorkou A sekundárního vinutí 3 disponuje hlavním ventilem 15, tlumicím ventilem 21 a řetězcem 16. Ostatní ramena můstku 11 sestávají z hlavních ventilů 12, 13, 14.

Navíc je tento způsob regulace polovodičového usměrňovače proveden pro ventilový usměrňovač 1, v němž můstky 9 (obr. 6) a 11, skupin 8 a 10, rovněž mají jen po jednom plně řízeném rameni

můstku. Rameno můstku 9, spojené se svorkou sekundárního vinutí 3, má hlavní ventil 14, tlumicí ventil 20 a řetězec 16. Ostatní ramena můstku 9 se skládají z hlavních ventilů 12, 13, 15. Rameno můstku 11, spojené se svorkou B sekundárního vinutí 3, disponuje hlavním ventilem 15, tlumicím ventilem 21 a řetězcem 16. Ostatní ramena můstku 9 sestávají z hlavních ventilů 12, 13, 14.

Regulační procesy ve ventilovém usměrňovači 1 podle obr. 4 a 5 probíhají analogicky, jak již bylo popsáno.

Za provozních podmínek pro elektrické dopravní prostředky, zejména pro elektrické lokomotivy v dálkové dopravě, není vyloučena možnost práce ve vynuceném režimu v situacích, které hraničí s haváriemi, stejně jako při částečném výpadku elektrického zařízení, například výpadek ventilů jednoho z můstků, porucha drážního motoru a podobně. V tomto případě může být v usměrňovači liché počet můstků, což neumožňuje splnění nutné podmínky rozdělení celého usměrňovače do dvou stejných částí se shodným zatížením. Tento nedostatek může být překonán tehdy, když spolu s vypadnutším můstkem je záměrně odpojen další můstek ve druhé skupině můstků usměrňovače. V tomto případě ale není celé elektrické zařízení plně využito, což má za následek nedokonalé využití tažné síly elektrického dopravního prostředku.

V tomto případě je způsob regulace polovodičového usměrňovače proveden na ventilovém usměrňovači 1 (obr. 7), který má pět jednofázových ventilových můstků 23, 24, 25, 26, 27, k nimž je paralelně zapojeno po jedné shodné zátěži 28. Počet ventilových můstků ve ventilovém usměrňovači 1 může být libovolný. Každý z ventilových můstků 23, 24, 25, 26, 27 má po dvou říditelných ramenech a dvou plně říditelných ramenech. Každé z říditelných ramen 23, 24, 25, 26, 27 sestává z hlavních ventilů 29, 30. Každé z plně říditelných ramen ventilových můstků 23, 24, 25, 26, 27 se skládá z hlavních ventilů 31, 32, tlumicích ventilů 33, 34 a řetězců 16.

Podstata regulace usměrňovače 1 spočívá ve střídavém přivádění řídicích impulsů na hlavní ventily 31 a potom na tlumicí ventily 33 jednotlivých můstků usměrňovače a je popsána průběhy napětí ve vinutí 3 a proudu i_3 ve vinutí 3 a proudu i_4 v kondenzátoru 4 na obr. 8. V okamžicích přivodu fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní ventily 31 resp. 32 můstku 23 a potom na tlumicí ventily 33, resp. 32 téhož můstku 23, působí impulsy na ventily 7 elektronického spínače 6. Jak je zřejmé z obr. 8, probíhá střídavé přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů jak v průběhu půlperiody napájecího napětí na hlavní ventily 31, resp. 32 můstků 23, 24, 25, 26, 27, tak i ve druhé polovině napájecího napětí na tlumicí ventily 33, resp. 34 ve stejných časových intervalech. Interval t_1 až t_2 (obr. 8) mezi časovými okamžiky přivádění impulsů na hlavní ventily 31, resp. 32 prvního můstku 23 a na hlavní ventily 31, resp. 32

prvního můstku 23 a na hlavní ventily 31, resp. 32 druhého můstku, jakož i interval t_4 až t_5 mezi časovými okamžiky přivádění impulsů na hlavní ventily 31, resp. 32 předposledního můstku 26 a na hlavní ventily 31, resp. 32 posledního můstku 27 jsou navzájem shodné a činí 2/3 trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4. Mezi intervaly t_2 až t_3 , t_3 až t_4 (obr. 8) mezi impulsy přiváděnými na hlavní ventily 31, resp. 32 můstků 24 a 25, 25 a 26, počínaje druhým můstkem 24 a konče předposledním můstkem 26, jsou rovněž navzájem shodné a činí 1/3 trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4.

Právě tak jsou ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí střídavě fázově regulované řídicí impulsy přiváděny na tlumicí ventily 33, resp. 34 můstků 23, 24, 25, 26, 27 usměrňovače 1 s intervalem t_6 až t_7 , rovným 2/3 půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4, mezi impulsy přiváděnými na tlumicí ventily 33, resp. 34 prvního a druhého můstku 23, resp. 24, jakož i na tlumicí ventily 33, resp. 34 předposledního a posledního můstku 26, resp. 27. Interval t_7 až t_8 , t_8 až t_9 (obr. 8) mezi impulsy přiváděnými na tlumicí ventily 33 resp. 34 mezilehlých můstků 25, 26 jsou rovněž navzájem shodné a činí po 1/3 trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4. Bezstupňový, plynulý vzrůst proudu i_3 (obr. 8b) v transformátoru 2 v průběhu intervalu t_1 až t_5 , jakož i bezstupňové, plynulé tlumení proudu i_3 v transformátoru 2 v průběhu intervalu t_6 až t_{10} probíhá bez nárazů agregací jednotlivých křivek s cyklem: k-k, l-l, m-m, p-p v časových okamžicích t_2 , t_3 , t_4 , t_5 , t_6 , t_7 , t_8 rovnosti výstupů proudu v bodech agregace.

V jednom speciálním případě, kdy v usměrňovači 1 jsou tři můstky, probíhají procesy pro dva shodné intervaly o trvání 2/3 půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru. Při čtyřech můstcích se vyskytne ještě jeden mezinterval o 1/3 trvání.

Ve všeobecném případě, když je počet můstků roven n , je počet meziintervalů roven $n-1$.

Navrhovaný způsob regulace polovodičového usměrňovače je proveden rovněž ve ventilovém usměrňovači 1 (obr. 9), který je napájen transformátorem 2, jehož sekundární vinutí 3 má střed 35. Tento ventilový usměrňovač 1 obsahuje jeden jednofázový ventilový můstek 36, na který je připojena společná zátěž 37 v podobě libovolně propojených drážních motorů a obvodu neznázorněné vyhlazovací tlumivky. V tomto případě je sekundární vinutí 3 transformátoru 2 rozděleno do dvou shodných částí 38 a 39. Kondenzátor, který leží paralelně k sekundárnímu vinutí 3, je rovněž rozdělen do dvou shodných částí 40 a 41. Ventilový můstek 36 má dvě větve 42 a 43, jejichž středy jsou napojeny na celkové sekundární vinutí 3, a třetí větev 44, jejíž střed je připojen na střed 35 sekundárního vinutí 3 a kondenzátoru 4. V každé větvi 42, 43 můstku 36 jsou dvě ramena plně řiditelná. Jedno rameno větvi 42, 43 obsahuje hlavní ventil 45, tlumicí ventil 46 a řetězec 16.

Druhé rameno větvi 42, 43 má hlavní ventil 47, tlumicí ventil 48 a řetězec 16. Ramena větve 44 jsou řiditelná a sestávají z hlavních ventilů 49, 50. V popsaném usměrňovači 1 se provádí při regulaci stejný elektromagnetický proces jako v usměrňovači se dvěma skupinami můstků, zobrazeném na obr. 1, s tím rozdílem, že fázově regulované řídicí impulsy se přivádějí v okamžiku t_1 (obr. 10a) na hlavní ventily 45, 50 do větvi 43, 44, tvořících obvod proudu zátěže 37 přes sekundární dílčí vinutí 39 transformátoru 2. V důsledku vlastních kmitů proudu v dílčích vinutích 38, 39 a v kondenzátorech 40, 41 v časovém okamžiku t_2 posunutém od časového okamžiku t_1 o interval rovný trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4, však proud dosáhne v sekundárním vinutí 3 hodnoty i_3 (obr. 10b) odpovídající celkovému proudu zátěže 37. V tomto okamžiku t_2 (obr. 10a) se přivádějí fázově regulované řídicí impulsy na hlavní ventily 47 větve 42, tyto ventily potom po svém otevření tvoří hlavní obvod proudu zátěže 37 přes celkové sekundární vinutí 3 transformátoru 2.

Analogicky jsou při tlumení proudu v transformátoru 2 ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí v časovém okamžiku t_3 , předbíhajícím ne více než o půlperiodu vlastních kmitů proudu v kondenzátoru nulový průchozí bod napájecího napětí, přiváděny na tlumicí ventily 46 větve 43 usměrňovače 1 fázově regulované řídicí impulsy, tyto ventily odpojí dílčí vinutí 39 od zátěže 37. Potom jsou předávány rovněž v intervalech rovných půlperiodě vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4 v okamžiku t_4 na celkové sekundární vinutí 3 tlumicích ventilů 48 větve 42 odpojených od zátěže 37. Na obr. 10a, 10b, 10c, 10d, 10e je znázorněn průběh napětí U_3 v celkovém sekundárním vinutí 3 transformátoru 2 a průběhy proudů i_{38} , i_{39} v dílčích vinutích 38 a 39, jakož i proudu i_3 v celkovém vinutí 3 a proudu i_4 v kondenzátoru 4.

Proud i_3 představuje poloviční součet proudů i_{38} , i_{39} v dílčích vinutích 38, 39, zatímco proud i_4 je společným proudem v ekvivalentním kondenzátoru 4, napojeném na společné vinutí 3 a složeném z jednotlivých částí 40, 41.

Jak je zřejmé z obr. 10, podobají se průběhy U_3 a i_3 průběhům v obr. 3a, b usměrňovače znázorněného na obr. 1. Sled činností všech ventilů 45, 46, 47, 48, 49, 50 je znázorněn v diagramu objasňujícím na obr. 11 regulační proces v usměrňovacím režimu a v diagramu na obr. 12, objasňujícím regulační proces ve střídačovém režimu usměrňovače 1.

Průběhy zobrazené na obr. 10 odpovídají ideální magnetické agregaci mezi dílčími vinutími 38 a 39, tj. stavu, ve kterém by nebylo rozptylových toků mezi nimi.

U reálných konstrukcí drážních transformátorů podmiňuje existence rozptylových toků a následného induktivního odporu v každém proudovém obvodu „dílčí vinutí – kondenzátor“ průběh krát-

kodobého rychle doznívajícího procesu v okamžicích zapojení ventilů.

U dobrých magnetických agregací neprojeví tento proces na základních průbězích napětí U_3 a proudu i_3 . Při odstranění krátkého spojení transformátorového vinutí během komutace ventilů, která je u usměrňovacích, resp. střídačových usměrňovačů, používaných v současné době nevyhnutelná, probíhá způsob regulace ventilového usměrňovače následujícím způsobem.

Až do okamžiku nulového průchodu křivky napájecího napětí uzavírají se proudy zátěží 22 (obr. 9) přes proudové obvody ventilů 14, 15 v můstcích 9, 9' skupiny 8 a v můstcích 11, 11' skupiny 10. V okamžiku t_1 (obr. 13), odpovídajícím nulovému průchodu napájecího napětí U_3 , jsou zároveň s přiváděním fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní ventily 12, 15 můstků 9, 9' přiváděny fázově regulované řídicí impulsy dodatečně na tlumicí ventily 20 větví v protifázi těchto můstků. V tomto případě je proud zátěží 22 přepojen z obvodu ventilů 14, 15 na proudový obvod: kondenzátor 17, tlumivka 18, tlumicí ventil 20 působením napětí komutačního kondenzátoru 17. V dalším průběhu vzrůstu napětí ve vinutí 3 (ventily 14 jsou právě uzavřeny) přecházejí zátěžové proudy do obvodu kondenzátoru 4 a vinutí 3, zatímco se komutační kondenzátor 17 znovu nabíjí přes obvod diody 19 z vinutí 3. Ve vinutí 3 a v kondenzátoru 4 probíhá právě popsaný kmitavý proces o frekvenci vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4, zatímco v okamžiku t_2 (obr. 13) jsou řídicí impulsy rovněž přiváděny na hlavní ventily 12, 15 (obr. 1) můstků 11, 11' skupiny 10, protože proud zátěží 22 můstků 11, 11' skupiny 10 je z obvodů ventilů 14, 15 přepojen na proudové obvody hlavních ventilů 12, 15.

V důsledku přivádění fázově regulovaných řídicích impulsů na tlumicí ventily 20 větví v protifázi můstků 9, 9', při současném jejich přivádění na hlavní ventily 12, 15, je tudíž odstraněno krátké spojení vinutí 3 přes obvod ventilů 12, 14.

Dále protékají proudy zátěží 22 (obr. 1) po okamžiku t_2 (obr. 13) přes obvody ventilů 12, 15 za působení napájecího napětí vinutí 3.

Pochody ve druhé půlperiodě napájecího napětí probíhají analogicky. Zde jsou fázově regulované řídicí impulsy přiváděny rovněž v okamžiku t_1 (obr. 13), odpovídajícím nulového průchodu křivky napájecího napětí, za účelem odstranění krátkého spojení vinutí 3, na hlavní ventily 13, 14 a na tlumicí ventily 21 v protifázi můstků 11, 11' skupiny 10. V okamžiku t_2 jsou impulsy přiváděny na hlavní ventily 13, 14 v můstcích 9, 9' skupiny 8.

Základní průběh kmitání proudu v kondenzátoru 4 je ve všech případech přerušen při nulových počátečních podmínkách proudu a napětí frekvence vlastních kmitů proudu v kondenzátoru 4. V intervalech mezi komutacemi protéká v transformátoru 2 a v neznázorněné drážní síti proud odpovídající celkovému proudu zátěže 22. Nepří-

tomnost kolísání proudu ve vinutích 3 transformátoru 2 a v drážní síti v intervalech mezi komutacemi je zajištěna sledem řízení ventilů v můstcích 9, 9', 11, 11'.

Tato podmínka nemůže být ale přísně dodržena při paralelní práci několika hnacích prostředků napájených z jedné drážní sítě. Frekvence vlastních kmitů proudu v kondenzátorech 4 se mohou poněkud vzájemně lišit v závislosti na poloze na vedení, s ohledem na podružnou dráhovou napájecí stanici, když proces zapojení tažného prostředku se může shodnout s intervaly mezi komutacemi jiných tažných prostředků, zejména při různých regulačních úhlech napětí na motorech.

V tomto případě může ukončení komutace ventilů, nevyhnutelně provázené krátkým spojením transformátorového vinutí, u normálních elektrických dopravních prostředků vyvolat kolísání proudu zvýšené frekvence na trati drážní sítě.

V souladu s popsaným způsobem regulace ventilového usměrňovače 1 je zajištěn bezstupňový, plynulý vzrůst a bezstupňové tlumení proudu i_3 (obr. 2) v transformátoru 2 v intervalech τ_1 , τ_2 (obr. 14), zatímco v intervalu mezi komutacemi v drážní síti a transformátorem 2 protéká proud odpovídající proudu zátěže 22 usměrňovače 1. Když ve stejné době v okamžiku t_1 dojde k zapojení proudu v usměrňovači jiného hnacího prostředku poháněného ze stejné drážní sítě, může na uvedeném elektrickém hnacím prostředku vzniknout proudové kolísání. K odstranění tohoto kolísání v celém časovém intervalu mezi komutacemi je v obvodu kondenzátoru 4 tlumivka 5, která toto kolísání omezí, jak je znázorněno na obr. 14. Toho je v popsaném způsobu dosaženo tím, že v každé půlperiodě napájecího napětí při přivádění řídicích impulsů na první ventily ve sledu hlavních ventilů 12, 15 (obr. 1) usměrňovače 1 jsou ve stejném okamžiku přiváděny řídicí impulsy na ventily 7, 8 elektronického spínače 6, který v obou směrech šuntuje tlumivku 5. Ve druhé části půlperiody napájecího napětí jsou přiváděny zároveň s přívodem řídicích impulsů na první ventily ve sledu tlumicích ventilů 20, 21 usměrňovače 1 impulsy rovněž na ventily 7, 8 elektronického spínače 6. V důsledku takového řízení chová se tlumivka 5 v komutačních intervalech τ_1 , τ_2 (obr. 14) otevřenými ventily 7, 8 elektronického spínače 6 jako zapojená nakrátko a neovlivňuje charakter popsaných řídicích a regulačních pochodů usměrňovače 1. Přitom nesmí být šířka řídicích impulsů přiváděných na ventily 7, 8 elektronického spínače 6 menší než trvání časového intervalu mezi okamžiky prvního a posledního přivedení fázově regulovaných řídicích impulsů, přiváděných na hlavní ventily 14, 15, jakož i na tlumicí ventily 20, 21 usměrňovače 1.

V okamžicích ukončení komutačních intervalů uzavřou ventily 7, 8 elektronického spínače 6 spontánně a tlumivka 5 se chová jako zapojená do proudového obvodu kondenzátoru 4, čímž je eliminován výskyt škodlivého kolísání proudu

208969

v transformátoru 2 a v síti, které může být vyvoláno paralelně pracujícími elektrickými dopravními prostředky.

Způsob regulace tvořící podstatu vynálezu zajišťuje hodnotu účinku u elektrických dopravních prostředků nejméně 0,95 a umožňuje odstranit krátké spojení transformátorového vedení při ko-

mutaci ventilů usměrňovače, což je nevyhnutelný úkaz u stávajících elektrických dopravních prostředků s přirozenou komutací. V důsledku toho se dosahuje 2 až 3násobného snížení induktivních napětových ztrát v drážní síti, tři až čtyřnásobné redukování rušivého účinku drážní sítě na spojová vedení.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Způsob regulace polovodičového usměrňovače napájeného transformátorem, k jehož sekundárnímu vinutí je seriově zapojen za sebou kondenzátor a tlumivka překlenutá elektronickým spínačem, a obsahujícího alespoň jeden jednofázový ventilový můstek s hlavními a tlumicími ventily, na něž je připojena zátěž, kde v každé půlperiodě napájecího napětí se na hlavní a tlumicí ventily přivádějí fázově regulované řídicí impulsy, vyznačující se tím, že fázově regulované impulsy se přivádějí v průběhu celé půlperiody napájecího napětí na hlavní ventily (12, 13, 14, 15) usměrňovače (1) střídavě v mezích první půlperiody od vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru (4) vznikajících v okamžiku přivedení fázově regulovaných řídicích impulsů, zatímco fázově regulované řídicí impulsy ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí se přivádějí na tlumicí ventily (20, 21) usměrňovače (1) střídavě v mezích první půlperiody od vlastních kmitů proudu v kondenzátoru (4) v okamžiku přivedení fázově regulovaných řídicích impulsů.

2. Způsob regulace polovodičového usměrňovače podle bodu 1, vyznačující se tím, že fázově regulované řídicí impulsy se v průběhu celé půlperiody napájecího napětí střídavě přivádějí jednak na hlavní ventily (12, 13, 14, 15) můstků (9, 9') jedné skupiny (8) a jednak na hlavní ventily (12, 13, 14, 15) můstků (11, 11') druhé skupiny (10) s intervalem mezi nimi rovným trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru (4), přičemž fázově regulované řídicí impulsy ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí se střídavě přivádějí na tlumicí ventily (20, 21) můstků (9, 9') jedné skupiny (8) a na tlumicí ventily (20, 21) můstků (11, 11') druhé skupiny (10) s intervalem mezi nimi rovným trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru (4).

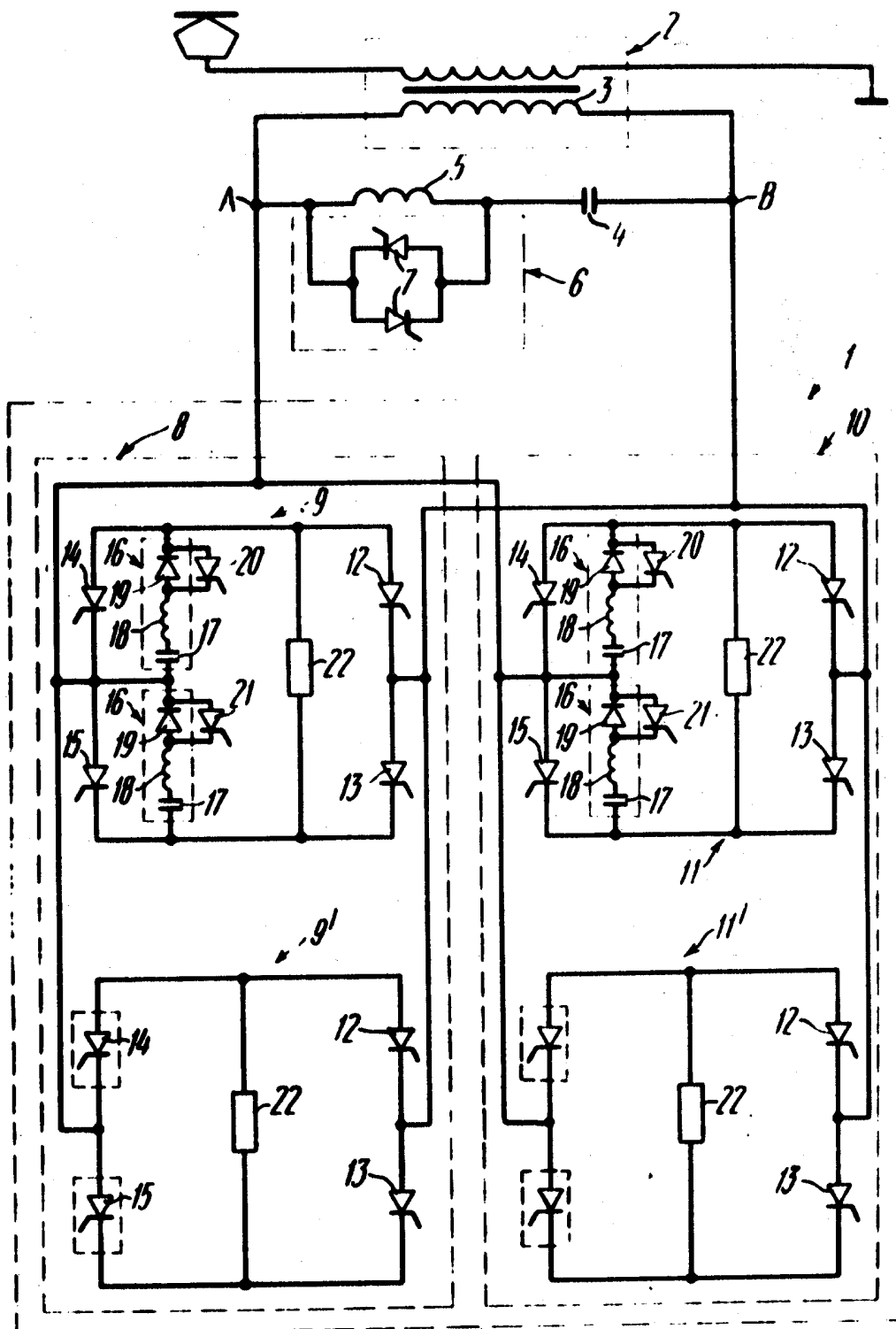
3. Způsob regulace polovodičového usměrňovače podle bodu 1, vyznačující se tím, že fázově regulované řídicí impulsy se v průběhu celé půlperiody napájecího napětí střídavě přivádějí na hlavní ventily (29, 30, 31, 32) každého z můstků (23, 24, 25, 26) s intervaly mezi impulsy přiváděnými na první a druhý ventilový můstek (23, 24) a impulsy přiváděnými na předposlední a poslední ventilový můstek (26, 27) rovným 2/3 trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru (4) a s in-

tervaly mezi impulsy přiváděnými na střední ventilové můstky (24, 25, 26) rovnými 1/3 trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru (4), přičemž fázově regulované řídicí impulsy ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí se rovněž střídavě přivádějí na tlumicí ventily (33, 34) každého můstku (23, 24, 25, 26, 27) s intervaly mezi impulsy přiváděnými na první a druhý ventilový můstek (23, 24) a na předposlední a poslední ventilový můstek (26, 27) rovnými 2/3 trvání půlperiody vlastních kmitů proudu v kondenzátoru (4) a s intervaly mezi impulsy přiváděnými na střední ventilové můstky (24, 25, 26) rovnými 1/3 trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru (4).

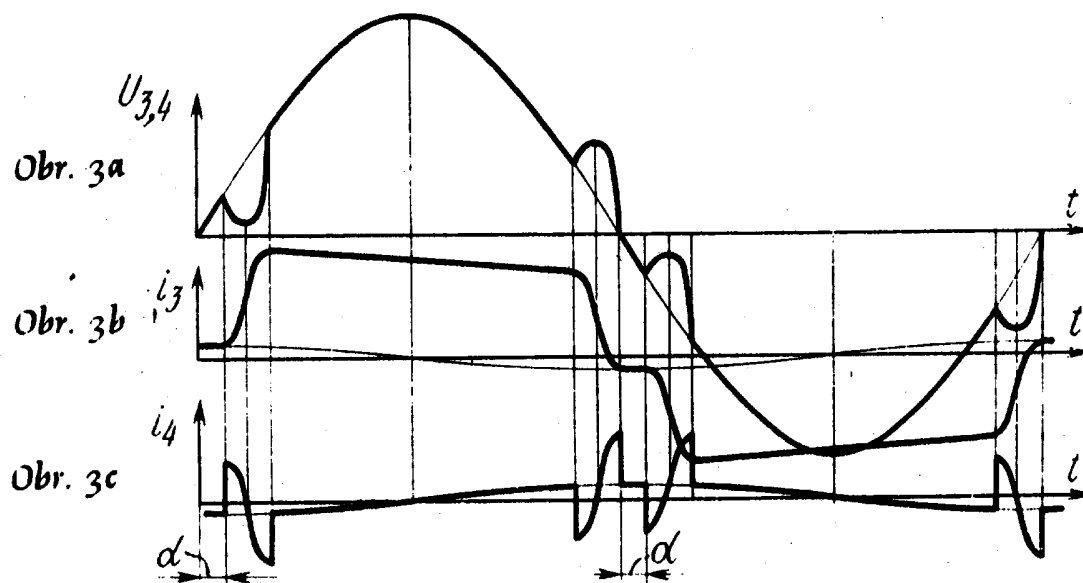
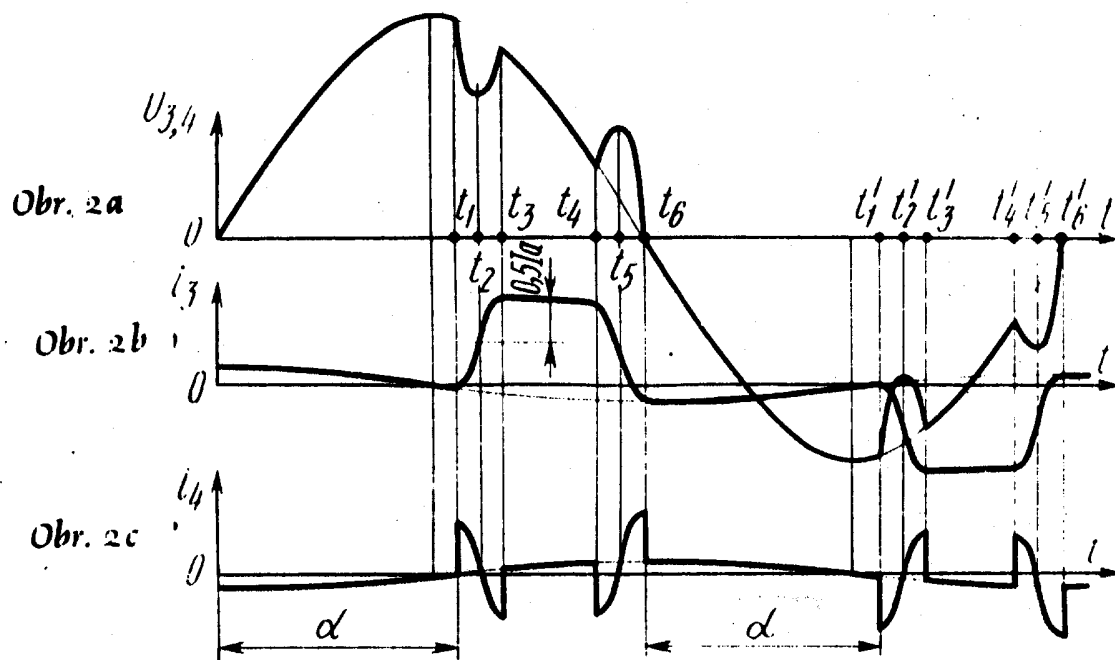
4. Způsob regulace polovodičového usměrňovače podle bodu 1, vyznačující se tím, že se fázově regulované řídicí impulsy v průběhu celé půlperiody napájecího napětí střídavě přivádějí jednak na hlavní ventily (45, 50) jedné větve (43, 44) ventilového můstku (36) a jednak na hlavní ventily (47) druhé větve (42) ventilového můstku (36) s intervalem mezi nimi rovným trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru (4), přičemž fázově regulované řídicí impulsy ve druhé polovině půlperiody napájecího napětí se střídavě přivádějí na tlumicí ventily (46) větve (43) a na tlumicí ventily (48) druhé větve (42) ventilového můstku (36) s intervalem mezi nimi rovným trvání půlperiody vlastních kmitů elektrického proudu v kondenzátoru (4).

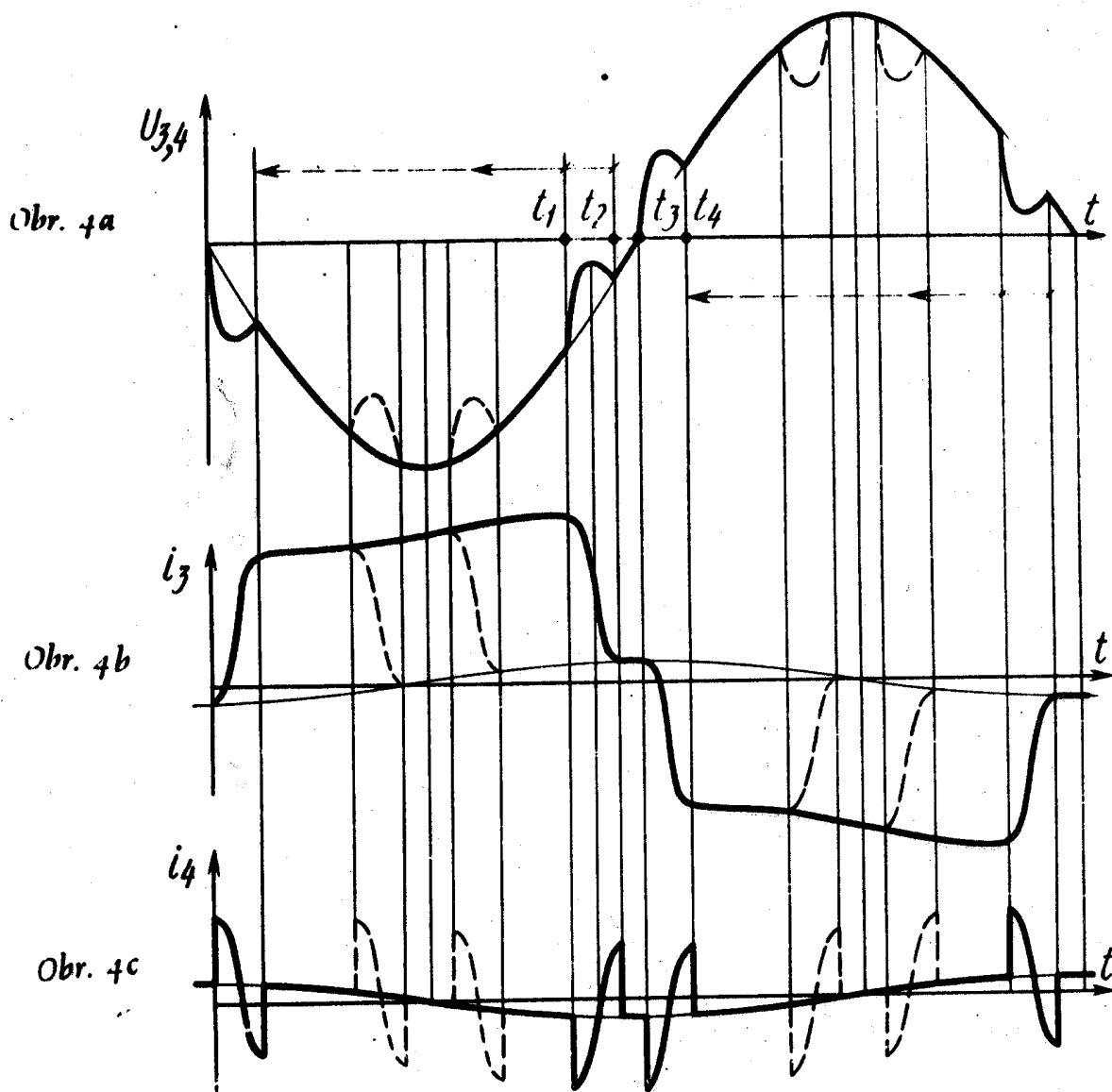
5. Způsob regulace polovodičového usměrňovače podle bodů 1 až 4, vyznačující se tím, že v okamžiku přivedení fázově regulovaných řídicích impulsů na hlavní ventily (15) můstků (9, 9') usměrňovače (1) se přivádějí fázově regulované řídicí impulsy dodatečně na tlumicí ventily (20) protilehlých větví ventilových můstků (9, 9') usměrňovače (1).

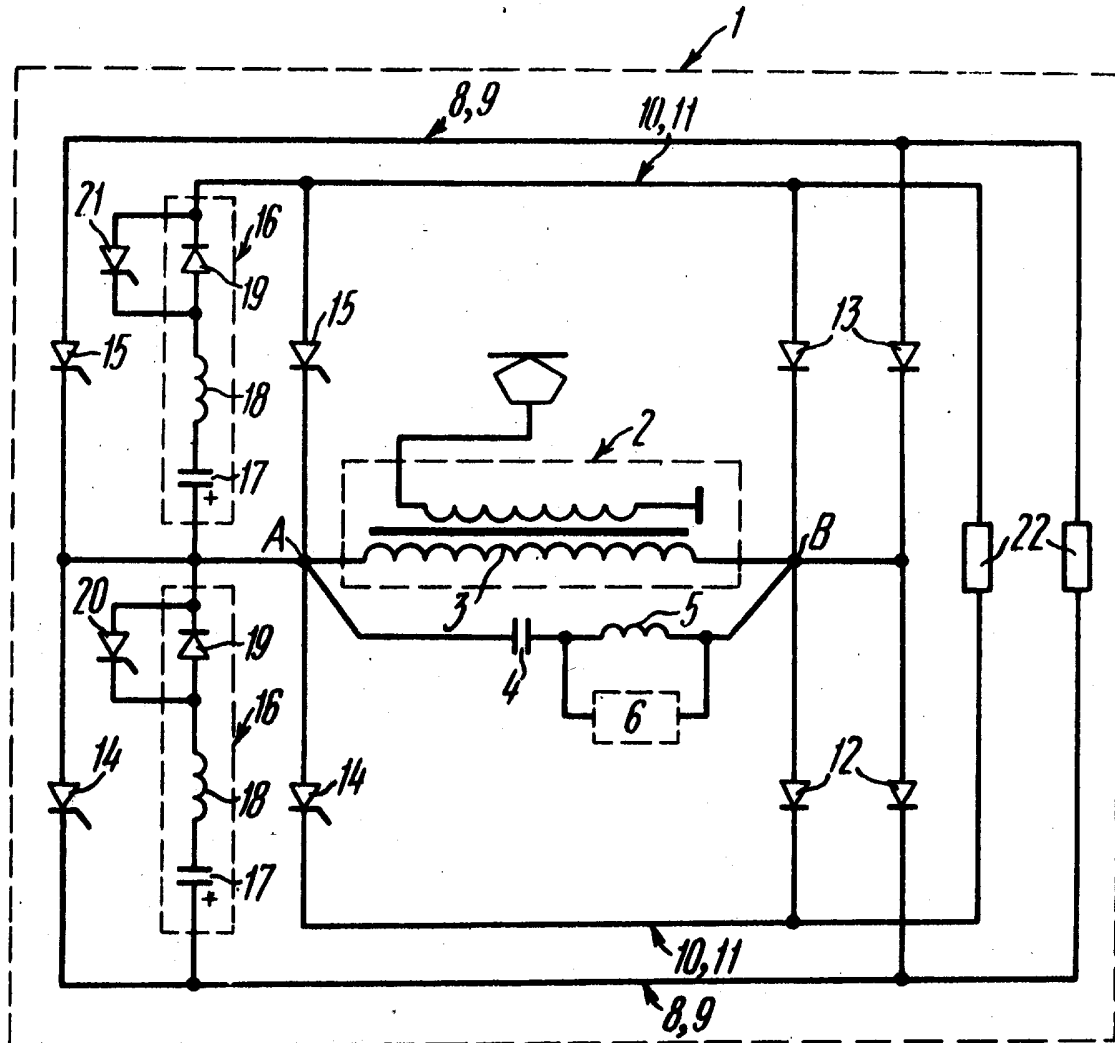
6. Způsob regulace polovodičového usměrňovače podle bodů 1 až 5, vyznačující se tím, že v okamžiku přivedení původního fázově regulovaného řídicího impulsu na hlavní ventily (15) ventilového usměrňovače (1) a v okamžiku přivedení původního fázově regulovaného řídicího impulsu na tlumicí ventily (21) usměrňovače (1) se fázově regulované řídicí impulsy dodatečně přivádějí na elektronický spínač (6) usměrňovače (1).



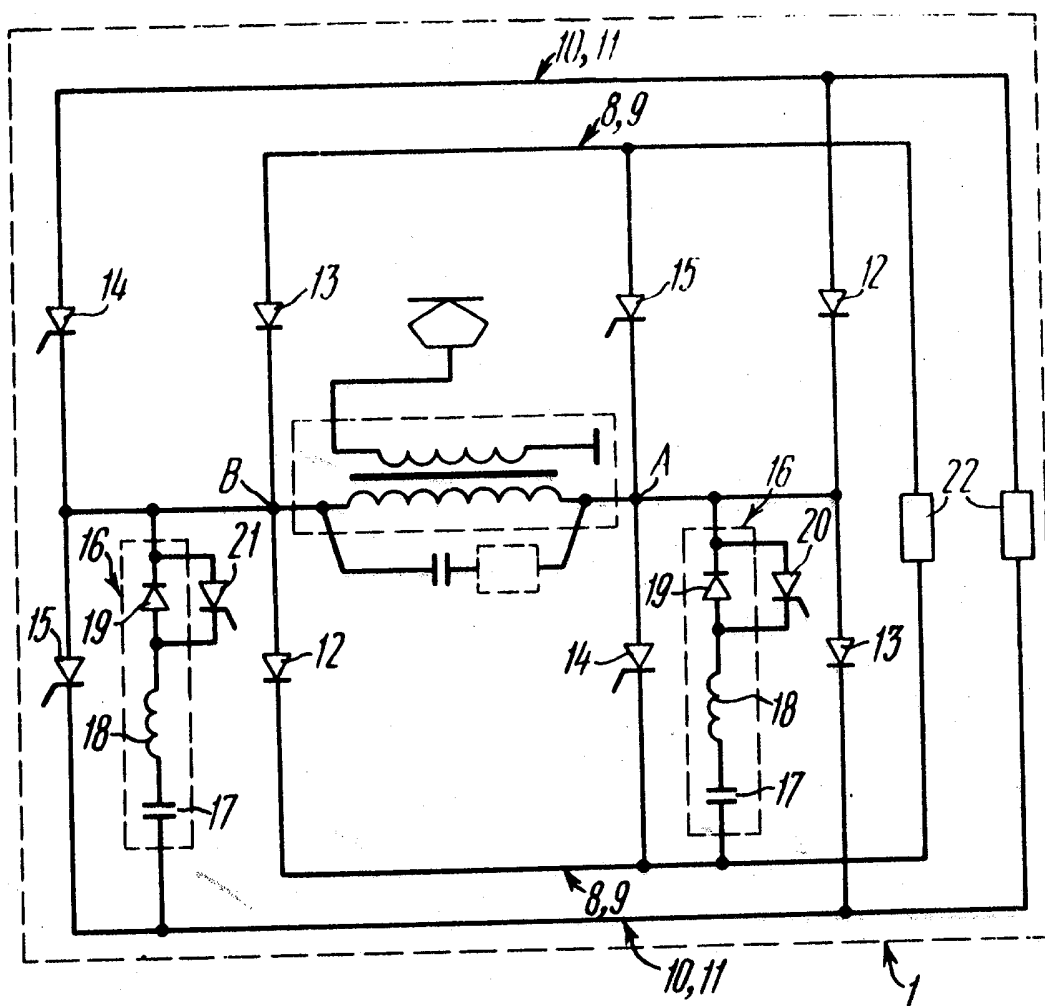
Obr. 1



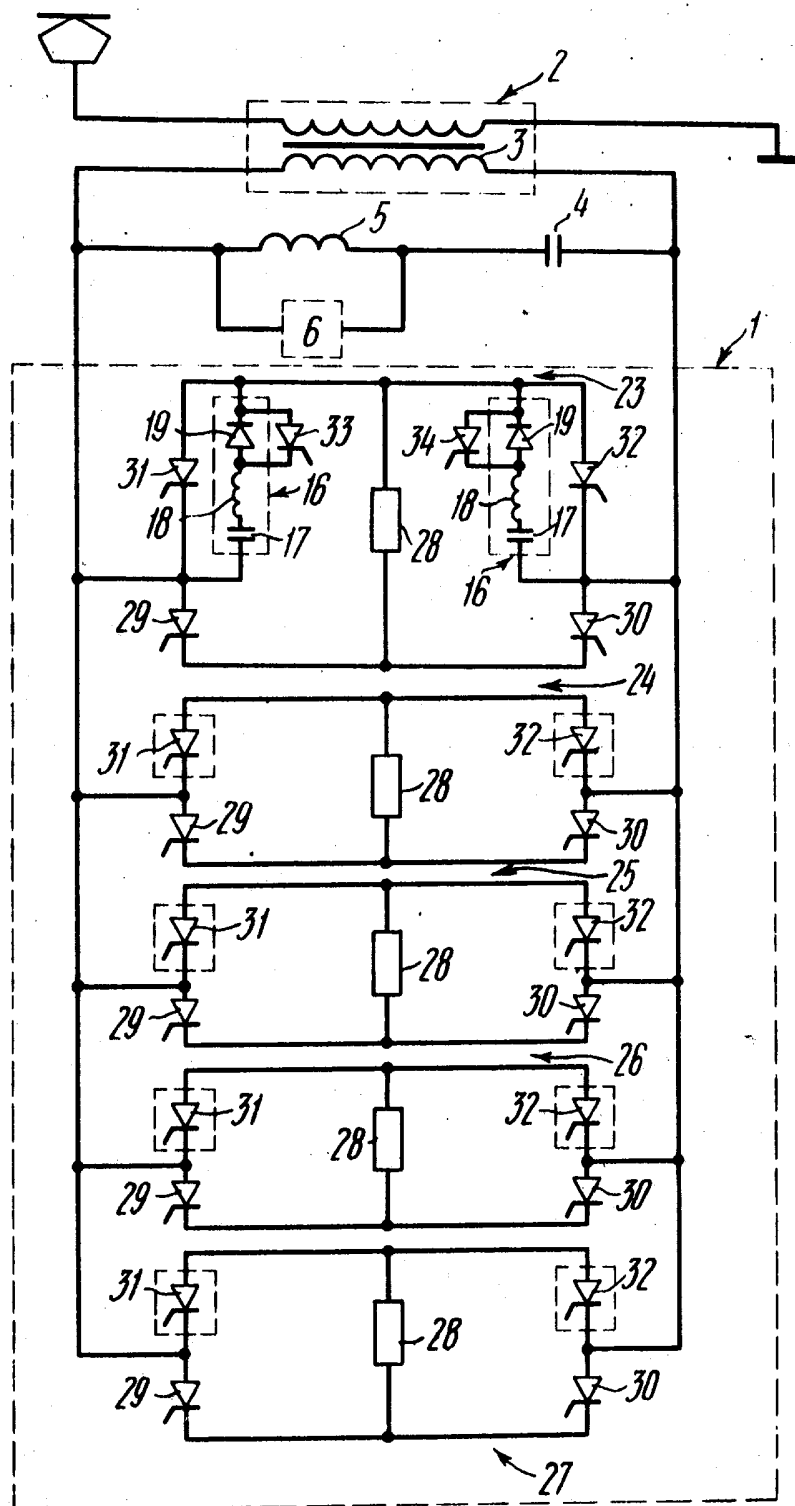




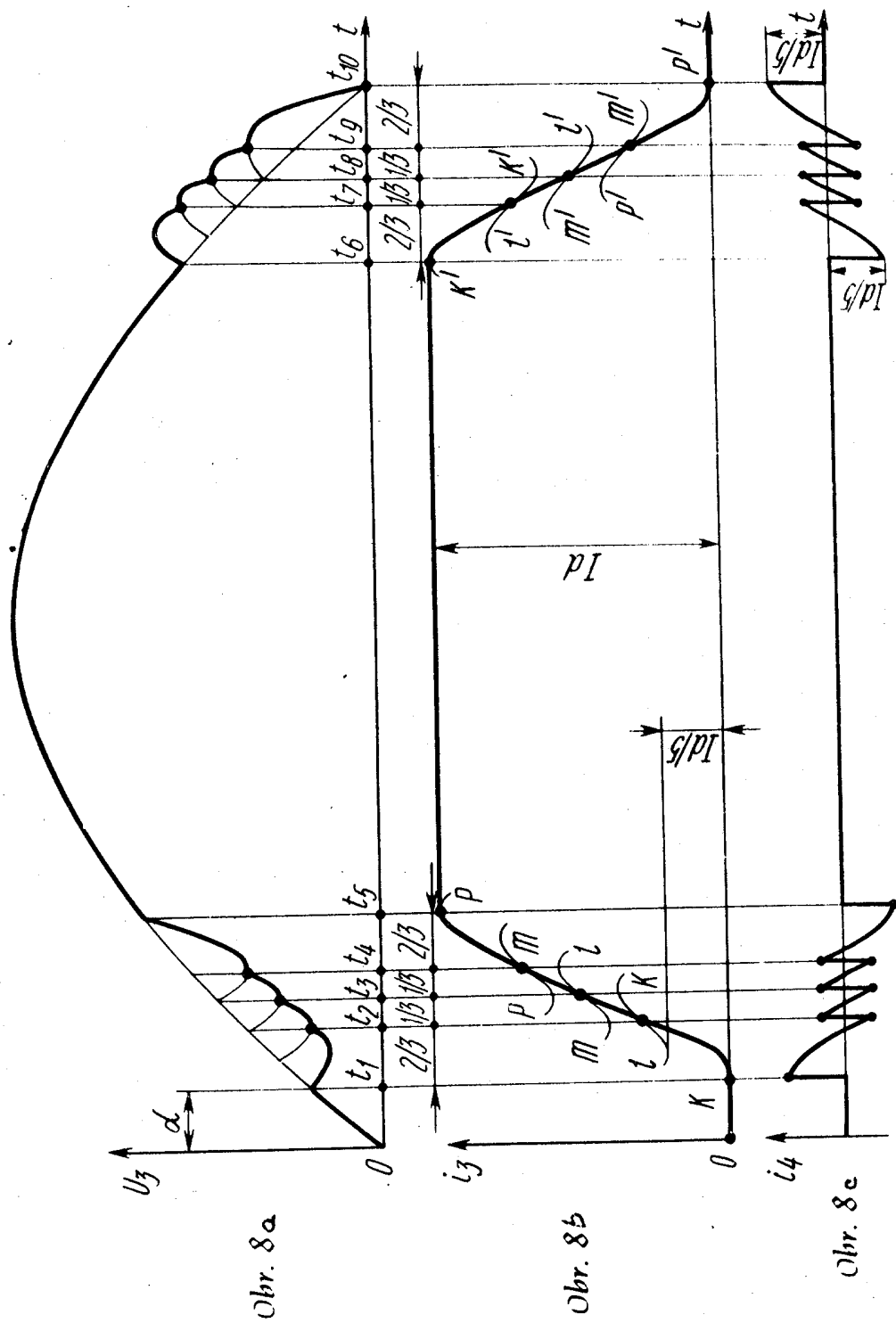
Obr. 5

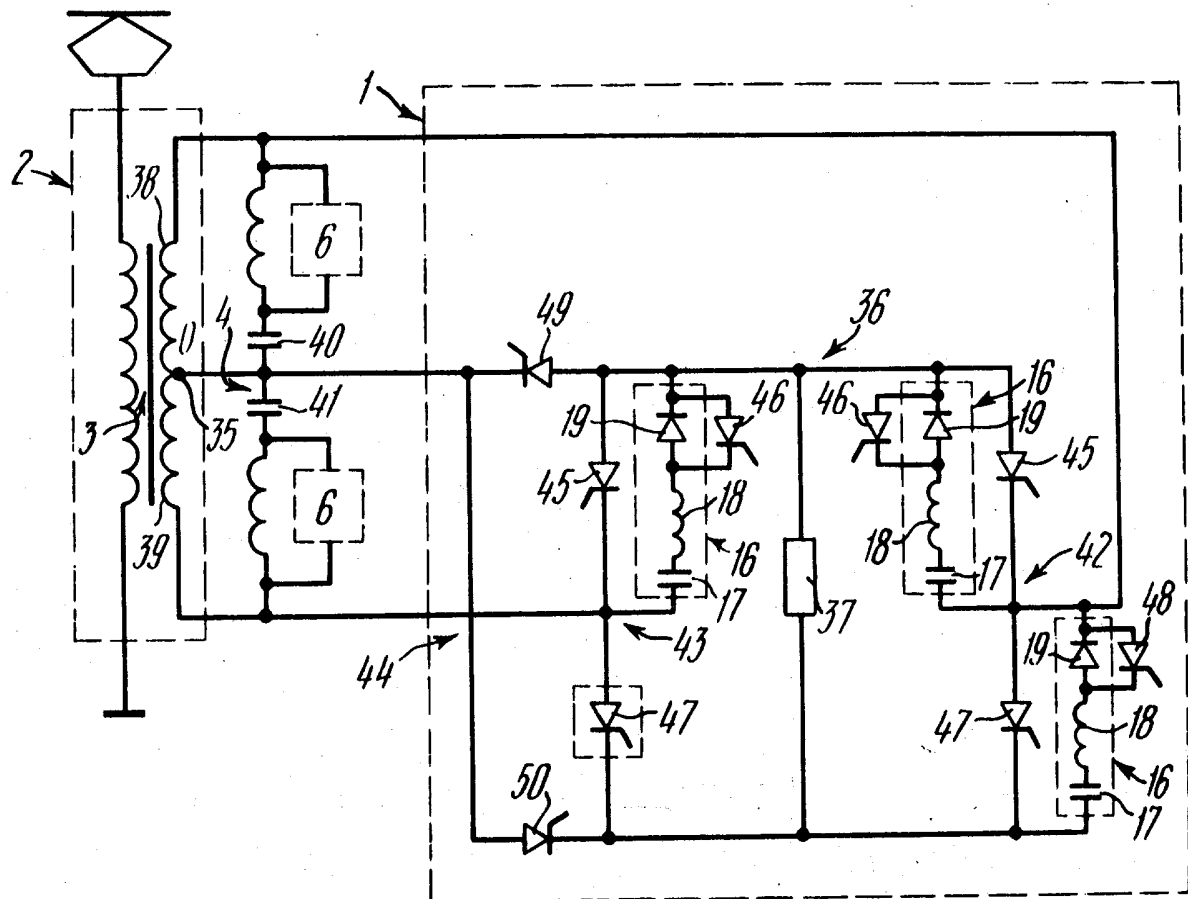


Obr. 6



Obr. 7





Obr. 9

