

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

Zveřejněná podle §31 zákona č. 527/1990 Sb.

(21) Číslo dokumentu:

2017-683

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

H02H 9/04 (2006.01)

H02H 3/08 (2006.01)

H02H 3/20 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

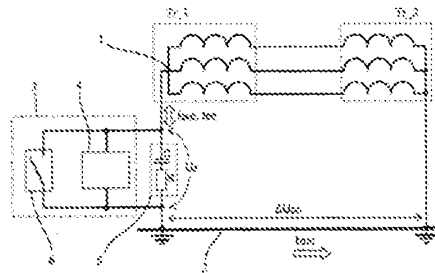
(22) Přihlášeno: **30.10.2017**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **27.12.2018**
(Věstník č. 52/2018)

(71) Přihlašovatel:
Ing. František Žák, Ph.D., Borek, CZ
Ing. Jaroslava Žáková, Borek, CZ

(72) Původce:
Ing. František Žák, Ph.D., Borek, CZ
Ing. Jaroslava Žáková, Borek, CZ

(74) Zástupce:
PatentCentrum Sedlák & Partners s.r.o., Husova tř.
1847/5, 370 01 České Budějovice, České
Budějovice 3



(54) Název přihlášky vynálezu:
**Způsob a zapojení pro omezení velikosti
napětí mezi uzlem a zemí ve střídavé
elektrické síti**

(57) Anotace:
Vynález řeší způsob a zapojení pro omezení velikosti napětí mezi uzlem (1) sítě a zemí (2), a to především v sítích s přímo uzemněným uzlem (1) nebo v sítích, kde je mezi uzel (1) sítě a zem (2) zapojena omezující impedance (5) za účelem zamezení průtoku stejnosměrného proudu I_{DC} uzlem (1) sítě. Podstat vynálezu spočívá v tom, že při zvýšení okamžité hodnoty napětí U_Z mezi uzlem (1) sítě a zemí (2) nad zadanou komparační hodnotu U_K se mezi uzel sítě a zem, případně paralelně k omezující impedanci (5), připojí ochranný obvod (3). Tento ochranný obvod (3) propojí uzel (1) sítě se zemí (2). V důsledku toho bude mít napětí U_Z mezi uzlem (1) sítě a zemí (2), hodnotu blízkou nule.

Způsob a zapojení pro omezení velikosti napětí mezi uzlem a zemí ve střídavé elektrické síti

Oblast techniky

5

Vynález spadá do oblasti uzemnění uzlu střídavé elektrické sítě a problematiky zamezení průtoku stejnosměrného proudu uzlem sítě.

10

Dosavadní stav techniky

Uzel sítě, který je přímo uzemněný nebo uzemněný přes reaktor, případně nízkohmový odpor, může spolu s vedením a ostatními obdobně uzemněnými uzly sítě vytvářet paralelní cestu pro stejnosměrné proudy I_{DC} , označované též jako bludné proudy. Pokud jsou v síti použity autotransformatory, může se stejnosměrný proud I_{DC} šířit i za tyto autotransformatory do dalších sítí, a to i na jiné napěťové hladině. Stejnosměrný proud I_{DC} negativně působí na magnetický obvod elektrických strojů (transformátorů, alternátorů, motorů) a způsobuje zvýšení ztrát, zvýšení oteplení, zvýšení hlučnosti a snížení životnosti zařízení. Tento stejnosměrný proud I_{DC} tekoucí uzlem sítě můžeme omezit zapojením odporu mezi uzel sítě a zem. Čím vyšší bude hodnota odporu, tím více bude omezován průtok stejnosměrného proudu I_{DC} uzlem sítě. Při 15
jednofázové poruše v síti bude na uvedeném odporu napětí o velikosti fázového napětí sítě. Pro úplné zamezení průtoku stejnosměrného proudu I_{DC} uzlem sítě je možné uzel sítě od země odpojit. Tento uzel sítě bude pak provozován jako izolovaný. To však z provozního hlediska nelze vždy realizovat. U sítí, které jsou provozovány pouze s mezifázovými odběry, lze mezi uzel 20
sítě a zem vřadit kondenzátor. Kondenzátor úplně zamezí průtoku stejnosměrného proudu I_{DC} přes uzel sítě a v omezené míře umožní průtok střídavého proudu I_{0AC} . Na kondenzátoru bude pak trvalé napětí, jehož velikost bude závislá na kapacitní reaktanci kondenzátoru a velikosti střídavého proudu I_{0AC} tekoucího uzlem sítě. Při jednofázovém zkratu, nebo i při zapínání sítě, může mít uzel sítě proti zemi hodnotu fázového napětí. Kondenzátor musí být, proto dimenzován 30
na fázové napětí sítě. Kapacitní reaktance v uzlu sítě bude výrazně omezovat hodnotu jednofázového poruchového proudu tekoucího přes uzel sítě a může omezit také hodnotu proudu při jednofázovém zatížení. Instalace kondenzátoru mezi uzel sítě a zem je vhodná především v těch sítích, kde jsou pouze mezifázové odběry. U sériového zapojení kondenzátoru a indukčnosti, která je obvykle dána zařízením tvořícím uzel sítě, může dojít ke vzniku sériové 35
rezonance. V důsledku sériové rezonance vzniká na kondenzátoru a indukčnosti nebezpečně vysoké napětí. Toto zvýšené napětí může být příčinou poškození zařízení v síti. Nevýhody výše popsaných známých řešení spočívají v tom, že pro síť s vysokým napětím je nutné dimenzovat omezující impedance pro eliminaci stejnosměrného proudu protékajícího uzlem sítě na hodnoty fázového napětí. Zejména u sítí velmi vysokého a zvláště vysokého napětí je pak omezující 40
impedance finančně značně nákladná a technicky často obtížně řešitelná.

Podstata vynálezu

Podstata způsobu omezení velikosti napětí U_Z mezi uzlem a zemí ve střídavé elektrické síti podle 45
vynálezu spočívá v tom, že mezi uzel a zem se připojí komparačně spínací obvod, následně se pomocí komparačně spínacího obvodu kontinuálně porovnává okamžitá hodnota napětí U_Z s předem určenou komparační hodnotou U_K , a/nebo se kontinuálně porovnává okamžitá hodnota proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem a zemí s předem určenou komparační hodnotou I_K . Je-li 50
okamžitá hodnota napětí $U_Z \geq U_K$, a/nebo je-li okamžitá hodnota proudu $I_{0AC} \geq I_K$, pak sepnutím komparačně spínacího obvodu dojde k propojení uzlu se zemí přes komparačně spínací obvod, přičemž sepnutí se provádí v časovém intervalu t_1 až t_2 , kde t_1 je čas odpovídající dosažení okamžité hodnoty napětí $U_Z = U_K$, a/nebo okamžité hodnoty proudu $I_{0AC} = I_K$, a t_2 je čas dosažení amplitudy sinusového napětí U_Z .

55

V jednom výhodném provedení způsobu podle vynálezu, ve střídavé elektrické síti, ve které je mezi uzlem a zemí zapojena omezující impedance zejména pro omezení bludného stejnosměrného proudu I_{DC} tekoucího uzlem, se komparačně spínací obvod zapojí paralelně k omezující impedanci, přičemž po sepnutí komparačně spínacího obvodu dojde k omezení velikosti napětí U_Z mezi uzlem a zemí.

Rozšířením tohoto výhodného provedení způsobu určeného pro střídavou elektrickou síť s omezující impedancí se dále paralelně k omezující impedanci mezi uzlem a zemí zapojí jednopólový spínač, který je řízen komparačně spínacím obvodem, a který po sepnutí komparačně spínacího obvodu propojí uzel přímo se zemí. Jednopólový spínač je určen pro dlouhodobé zkratování mezi uzlem a zemí, např. při déletrvající poruše, aby komparačně spínací obvod nemusel trvale spínat.

V jiném výhodném provedení způsobu podle vynálezu, pro střídavou elektrickou síť s přímo uzemněným uzlem, se pro omezení bludného stejnosměrného proudu I_{DC} tekoucího uzlem odpojí uzel od země a mezi uzel a zem se zapojí komparačně spínací obvod, přičemž po sepnutí komparačně spínacího obvodu dojde k omezení velikosti napětí U_Z mezi uzlem a zemí.

Způsob určený pro střídavou elektrickou síť s přímo uzemněným uzlem lze rovněž výhodně doplnit tak, že se mezi uzel a zem zapojí jednopólový spínač, který je řízen komparačně spínacím obvodem, a který po sepnutí komparačně spínacího obvodu propojí uzel přímo se zemí. I zde je jednopólový spínač určen pro dlouhodobé zkratování mezi uzlem a zemí, např. při déletrvající poruše, aby komparačně spínací obvod nemusel trvale spínat.

Předmětem dalšího výhodného provedení způsobu podle vynálezu je také způsob řízení okamžiku vypínání komparačně spínacího obvodu, a to jak v síti s omezující impedancí, tak v síti s přímo uzemněným uzlem. Je-li amplituda proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem a zemí větší než předem určená komparační hodnota I_K , a to alespoň pro jednu nebo více po sobě následujících period, pak setrvává komparačně spínací obvod v sepnutém stavu i v okamžiku průchodu střídavého vyrovnávacího proudu I_{0AC} nulou dle síťové frekvence. Tím je zabráněno vzniku napětíových pulsů a EMC rušení.

Jiné výhodné provedení způsobu řízení okamžiku vypínání komparačně spínacího obvodu podle vynálezu spočívá v tom, že komparačně spínací obvod zůstává v sepnutém stavu po předem nastavenou dobu i v okamžiku průchodu střídavého vyrovnávacího proudu I_{0AC} nulou dle síťové frekvence.

Předmětem předloženého vynálezu je také zapojení pro omezení velikosti napětí U_Z mezi uzlem a zemí ve střídavé elektrické síti, zejména při výskytu bludného stejnosměrného proudu I_{DC} . Podstata zapojení spočívá v tom, že mezi uzel a zem je zapojen komparačně spínací obvod, obsahující buď alespoň jednu dvojici antiparalelně zapojených diod, případně „n“ sériově řazených antiparalelně zapojených diod, anebo kombinaci alespoň jednoho z komparačních obvodů, tedy napětíového nebo proudového komparačního obvodu, s rychlou spínací jednotkou. Napětíový komparační obvod porovnává okamžitou hodnotu napětí U_Z s předem určenou komparační hodnotou U_K . Proudový komparační obvod porovnává okamžitou hodnotu proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem a zemí s předem určenou komparační hodnotou I_K . Rychlá spínací jednotka, případně antiparalelně zapojené diody, slouží pro sepnutí komparačně spínacího obvodu propojujícího uzel a zem. Sepnutí musí proběhnout v čase ležícím v intervalu t_1 až t_2 . Čas t_1 je pro napětíový komparační obvod definován jako čas dosažení okamžité hodnoty napětí $U_Z = U_K$. Pro antiparalelně zapojené diody je t_1 definován jako čas dosažení okamžité hodnoty napětí $U_Z = n \cdot U_D$, kde v součinu $n \cdot U_D$ je U_D velikost minimálního napětí nutného k otevření diody v propustném směru a „n“ je počet sériově řazených antiparalelně zapojených diod. Pro proudový komparační obvod je t_1 definován jako čas dosažení okamžité hodnoty proudu $I_{0AC} = I_K$. Dosažení amplitudy sinusového napětí U_Z je definováno jako čas t_2 .

Ve výše popsaném zapojení je napěťový komparační obvod tvořen obvodem kontinuálního porovnávání okamžité hodnoty napětí U_Z s předem určenou komparační hodnotou U_K , s výstupem „1“ pro okamžitou hodnotu napětí $U_Z \geq U_K$ a s výstupem „0“ pro okamžitou hodnotu napětí $U_Z < U_K$, proudový komparační obvod je tvořen obvodem pro porovnávání okamžité velikosti proudu I_{0AC} s předem zadanou komparační hodnotou proudu I_K s výstupem „1“ pro okamžitou hodnotu proudu $I_{0AC} \geq I_K$ a s výstupem „0“ pro okamžitou hodnotu proudu $I_{0AC} < I_K$, a že rychlá spínací jednotka je tvořena alespoň jedním spínacím prvkem, ze skupiny triak, diak, dvojice antiparalelně zapojených diod, tyristorů nebo GTO tyristorů, spínací tranzistor IGBT a podobně.

Výhodné je rovněž zapojení, kde mezi uzel a zem je připojen jednopólový spínač, který je ovládán komparačně spínacím obvodem.

Způsob a zapojení k omezení velikosti napětí mezi uzlem sítě a zemí ve střídavých elektrických sítích lze využít především tam, kde je mezi uzlem sítě a zemí zapojena impedance za účelem omezení průtoku stejnosměrného bludného proudu I_{DC} uvedeným uzlem. Omezující impedance může být realizována například odporem, kondenzátorem i jejich kombinací. Pro tyto sítě se komparačně spínací obvod zapojí mezi uzel a zem, a to paralelně k omezující impedanci. V uvedených sítích lze komparačně spínací obvod řídit jak napěťovým, tak proudovým komparačním obvodem. Proudový komparační obvod provádí řízení komparačně spínacího obvodu podle velikosti proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem sítě a zemí. Pokud okamžitá hodnota proudu I_{0AC} překročí předem zadanou komparační hodnotu I_K , komparačně spínací obvod sepne. Způsob a zapojení k omezení velikosti napětí mezi uzlem sítě a zemí ve střídavých elektrických sítích je možné využít i v sítích s přímo uzemněným uzlem. V síti s přímo uzemněným uzlem se uzel sítě odpojí od země a mezi uzel a zem se zapojí komparačně spínací obvod s napěťovým komparačním obvodem. Jak již bylo uvedeno, napěťový komparační obvod však lze využít také v sítích, kde je mezi uzel a zem zapojena omezující impedance. Při použití napěťového komparačního obvodu se sepne komparačně spínací obvod v důsledku zvýšení okamžité hodnoty napětí U_Z mezi uzlem sítě a zemí nad zadanou komparační hodnotu U_K .

Po propojení uzlu sítě se zemí přes komparačně spínací obvod dojde ke svedení proudu I_{0AC} do země. V důsledku toho bude mít napětí U_Z , tj. napětí uzlu sítě proti zemi, hodnotu blízkou nule. K sepnutí komparačně spínacího obvodu musí dojít v čase mezi dosažením komparační hodnoty U_K nebo I_K a dosažením amplitudy U_Z . Takto definovaná doba sepnutí komparačně spínacího obvodu zaručuje, že sepnutí proběhne do doby dosažení amplitudy napětí U_Z mezi uzlem sítě a zemí. Tím dojde ke snížení napětí U_Z . Maximální hodnota napětí U_Z mezi uzlem sítě a zemí je pak dána součtem hodnoty napětí U_Z v okamžiku dosažení komparační hodnoty U_K nebo I_K a přírůstku napětí U_Z za dobu spínání komparačně spínacího obvodu. Při splnění výše uvedených podmínek je možné komparačně spínací obvod, uzemnění uzlu sítě a případně i omezující impedanci dimenzovat na nižší napětí než je fázové napětí sítě. Velikost napětí pro dimenzování uvedených zařízení je závislá na volbě velikosti komparačních hodnot U_K nebo I_K , na rychlosti připínání komparačně spínacího obvodu i na volbě případné omezující impedance. Z tohoto důvodu je využití vynálezu vhodné především pro sítě vn, vvn a zvn. Proudově však musí být komparačně spínací obvod.

Komparačně spínací obvod může být rovněž tvořen pouze antiparalelně zapojenými diodami, případně „n“ sériově řazenými antiparalelně zapojenými diodami. Volba velikosti komparačního napětí U_K je pak dána součinem $n \cdot U_D$, tj. součinem počtu „n“ sériově řazených antiparalelně zapojených diod a velikosti napětí U_D , které je nutné pro otevření diody v propustném směru. Avšak toto řešení lze využít pouze v takových sítích, kde nehrozí vznik problémů v důsledku vysokofrekvenčního rušení, které může nastat při vypínání komparačně spínacího obvodu po každém průchodu proudu nulou.

Z důvodu eliminace vysokofrekvenčního rušení a zamezení vzniku napěťových špiček dochází k vypínání komparačně spínacího obvodu vždy až po poklesu amplitudy proudu I_{0AC} tekoucího

mezi uzlem a zemí pod předem určenou komparační hodnotu I_K , a to alespoň pro jednu nebo více po sobě následujících period. Vypínání komparačně spínacího obvodu lze realizovat také zadaným časovým zpožděním, které bude delší, než děje v síti vyvolávající zvýšenou hodnotu proudu I_{0AC} mezi uzlem sítě a zemí. Tím je zabráněno vypínání komparačně spínacího obvodu při každém průchodu proudu I_{0AC} nulou, které by vyvolalo vznik napěťových pulzů či EMC rušení.

Po sepnutí komparačně spínacího obvodu jím bude protékat součet střídavého proudu I_{0AC} a stejnosměrného proudu I_{DC} . Pokud bude velikost stejnosměrného proudu I_{DC} převyšovat amplitudu střídavého vyrovnávacího proudu I_{0AC} tekoucího uzlem sítě, je nutné v rychlé spínací jednotce volit takové spínací prvky nebo zapojení, která jsou určena k vypínání i stejnosměrných proudů.

Výhody popsaného řešení vynálezu spočívají v tom, že jak omezující impedanci pro eliminaci stejnosměrného proudu protékajícího uzlem sítě, tak i všechny ostatní prvky navrhovaného zařízení je možné dimenzovat na hodnoty nižší než fázové napětí dané sítě. Zejména u sítě velmi vysokého a zvláště vysokého napětí lze tak výrazně snížit náklady za instalované zařízení. Výhoda způsobu řízení navrhovaného zařízení podle vynálezu spočívá i v možnosti omezení vzniku vysokofrekvenčního elektromagnetického rušení.

Objasnění výkresů

Na obr. 1 je znázorněn příklad zapojení podle vynálezu včetně omezující impedance pro eliminaci průtoku stejnosměrného proudu I_{DC} . Na obr. 2 je znázorněn příklad zapojení bez omezující impedance. Na obr. 3 je schéma zapojení komparačně spínacího obvodu s napěťovým komparačním obvodem, na obr. 4 je schéma zapojení komparačně spínacího obvodu s proudovým komparačním obvodem. Na obr. 5 je schéma zapojení s jednopólovým spínačem a napěťovým komparačním obvodem, na obr. 6 je schéma zapojení s jednopólovým spínačem a proudovým komparačním obvodem, na obr. 7 je schéma zapojení komparačně spínacího obvodu s antiparalelně zapojenými výkonovými diodami. Na obr. 8 jsou znázorněny průběhy okamžitých hodnot napětí U_z mezi uzlem a zemí.

Příklady uskutečnění vynálezu

Rozumí se, že dále popsané a zobrazené konkrétní příklady uskutečnění vynálezu jsou představovány pro ilustraci, nikoli jako omezení příkladů provedení vynálezu na uvedené případy. Odborníci znalí stavu techniky najdou nebo budou schopni zjistit za použití rutinního experimentování větší či menší počet ekvivalentů ke specifickým uskutečněním vynálezu, která jsou zde speciálně popsána. I tyto ekvivalenty budou zahrnuty v rozsahu následujících patentových nároků.

Příklady provedení vynálezu se týkají různých způsobů uzemnění uzlu 1 sítě v oblasti, kde zemí 2 protéká stejnosměrný proud I_{ZDC} . Proud I_{ZDC} protékající zemí 2 mezi uzemněnými uzly 1 sítě, tj. mezi uzly transformátorů Tr_1 a Tr_2 , vyvolává na odporu země 2 stejnosměrné napětí ΔU_{DC} . Obecně platí, že jak vinutí transformátorů, tak třífázové vedení, kladou průchodu stejnosměrného proudu zanedbatelný odpor. Proto přes uzly 1 sítě a třífázové vedení protéká bludný stejnosměrný proud I_{DC} . Proud I_{DC} může způsobit přesycení magnetického obvodu transformátoru a transformátor bude pak provozován s přesyceným magnetickým obvodem, což se projeví zvýšením hlučnosti a zvýšením ztrát transformátoru. Přesycení magnetického obvodu transformátoru způsobuje zároveň přehřívání jeho částí a má rovněž za následek zvýšení podílu vyšších harmonických v proudu, a to včetně harmonických sudého řádu. Uzlem 1 sítě protéká také vyrovnávací střídavý proud I_{0AC} .

Na obr. 1 je uveden příklad provedení vynálezu, kde pro zamezení průtoku bludného stejnosměrného proudu I_{DC} uzlem 1 sítě je mezi uzel 1 sítě a zem 2 zařazena omezující impedance 5. Uzlem 1 sítě pak protéká pouze střídavý vyrovnávací proud I_{0AC} , který na omezující impedanci 5 vytváří úbytek napětí U_Z . Tento úbytek napětí U_Z je zároveň napětím mezi uzlem 1 sítě a zemí 2. Omezující impedance 5 je v tomto příkladu tvořena sériovou kombinací kondenzátoru C a odporu R. Odpor R v omezující impedanci 5 slouží ke snížení vybíjecího proudu kondenzátoru C a má pouze malou hodnotu, zpravidla jednotky ohmů. Velikost omezující impedance 5 je proto ovlivněna zejména volbou kapacity kondenzátoru C. Při návrhu velikosti kapacity kondenzátoru C je nutno vyjít z požadované velikosti úbytku napětí na kondenzátoru C a velikosti vyrovnávacího proudu I_{0AC} protékajícího omezující impedancí 5. Například pro síť 400 kV lze vhodnou volbou kapacity kondenzátoru C zajistit, že při běžném provozním stavu sítě je úbytek napětí U_Z na omezující impedanci 5 roven požadované hodnotě, např. 250 V. Volba hodnoty napětí U_Z vyplývá z technických a ekonomických podmínek pro použití kondenzátorů C a komparačně spínacího obvodu 4. V uvedeném příkladu vychází napěťové dimenzování kondenzátoru C na úrovni 6 kV, a to i s ohledem na přechodové děje.

Pokud v síti vznikne jednofázová porucha nebo se v důsledku přechodového děje zvýší hodnota vyrovnávacího proudu I_{0AC} , může na omezující impedanci 5 vzniknout vysoké napětí U_Z , které může v ustáleném stavu dosahovat až hodnoty fázového napětí sítě. Mezi uzel 1 sítě a zem 2 je proto vložen ochranný obvod 3, a to paralelně k omezující impedanci 5. Ochranný obvod 3 obsahuje komparačně spínací obvod 4 a jednopólový spínač 6. Komparačně spínací obvod 4 sepne na základě zvýšeného napětí U_Z na omezující impedanci 5 nebo na základě zvýšené hodnoty proudu I_{0AC} a následně zajistí sepnutí jednopólového spínače 6. Jednopólový spínač 6 je určen pro dlouhodobé přímé propojení uzlu 1 sítě se zemí 2, např. při déletrvající poruše. Napětí U_Z mezi uzlem 1 sítě a zemí 2 je pak přibližně nulové. Po sepnutí komparačně spínacího obvodu 4 bude proud I_{0AC} procházet zejména paralelně připnutým ochranným obvodem 3, který má nízkou hodnotu odporu. Spínací prvky komparačně spínacího obvodu 4 musí být proudově dimenzovány na účinky zkratového proudu a vybíjecího proudu kondenzátor C.

Komparačně spínací obvod 4 zůstává v sepnutém stavu i v okamžiku průchodu střídavého vyrovnávacího proudu I_{0AC} nulou dle síťové frekvence. Vypínání komparačně spínacího obvodu 4 se řídí buď podle velikosti amplitudy proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem 1 a zemí 2, nebo podle předem nastaveného času vypnutí. K vypnutí komparačně spínacího obvodu 4 podle amplitudy proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem 1 a zemí 2 dojde, pokud amplituda proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem 1 a zemí 2 je menší než předem určená komparační hodnota I_K , a to alespoň pro jednu nebo více po sobě následujících period. Další možnost řízení vypnutí komparačně spínacího obvodu 4 je dána uplynutím předem nastavené doby sepnutí. Tato doba sepnutí se volí tak, aby do jejího uplynutí odezněly přechodové děje v síti. Zpravidla se jedná o dobu několika jednotek sekund. Před vypnutím komparačně spínacího obvodu 4 dojde nejprve k vypnutí jednopólového spínače 6. Protože po dobu sepnutí ochranného obvodu 3 může uzlem 1 sítě opět protékat i bludný stejnosměrný proud I_{DC} , je nutné, aby sepnutí ochranného obvodu 3 proběhlo jen po nezbytně nutnou dobu.

Na obr. 2 je uveden další příklad provedení vynálezu. Tento příklad řeší přímo uzemněný uzel 1 ve střídavé elektrické síti, bez omezující impedance. Popis obr. 2 vychází z popisu obr. 1. Liší se pouze v tom, že pro omezení bludného stejnosměrného proudu I_{DC} tekoucího uzlem 1 je nutné odpojit uzel 1 od země 2 a mezi uzel 1 a zem 2 zapojit ochranný obvod 3. Další odlišností tohoto příkladu je, že nelze využívat spínání komparačně spínacího obvodu 4 na základě zvýšené hodnoty proudu I_{0AC} .

Oba výše uvedené příklady blíže nespecifikují provedení komparačně spínacího obvodu 4. Provedení komparačně spínacího obvodu 4 může zahrnovat některé z níže uvedených nebo i jiných zapojení.

- Na obr. 3 je znázorněn příklad zapojení komparačně spínacího obvodu 4 obsahujícího napěťový komparační obvod 7 pro porovnání okamžité hodnoty napětí U_Z mezi uzlem 1 a zemí 2, která je na schématu označena jako $u_Z(t)$, s předem nastavenou komparační hodnotou U_K . Dále komparační spínací obvod 4 obsahuje monostabilní klopný obvod 8 s předem nastavenou dobou T výstupního pulzu a rychlou spínací jednotku 9 tvořenou výkonovými spínacími polovodičovými součástkami (například tyristory, triaky), která sepne při logické úrovni „1“ signálu a vypne při nulové logické úrovni vstupního signálu poté, co proud projde nulovou hodnotou.
- Zapojení podle obr. 3 pracuje tak, že v běžném provozním režimu je rychlá spínací jednotka 9 v rozepnutém stavu a nevede proud. Pokud okamžitá hodnota napětí U_Z mezi uzlem 1 sítě a zemí 2, která je na schématu označena jako $u_Z(t)$, se zvýší nad hodnotu komparačního napětí U_K , vygeneruje napěťový komparační obvod 7 signál na úrovni logické „1“. Tento signál je přiveden na vstup monostabilního klopného obvodu 8, který na výstupu vygeneruje zapínací signál pro rychlou spínací jednotku 9. Rychlá spínací jednotka 9 sepne a překlene omezující impedanci 5. Tím na omezující impedanci 5 poklesne napětí U_Z téměř na nulovou hodnotu a napěťový komparační obvod 7 zruší signál o překročení hodnoty komparačního napětí U_K . Na výstupu napěťového komparačního obvodu 7 bude logická „0“. Tato logická „0“ je přivedena na vstup monostabilního klopného obvodu 8. Monostabilní klopný obvod 8 však výstupní stav ponechává ve stavu zapnutém (logická „1“) do doby uplynutí nastaveného času T . Po uplynutí času T se výstup monostabilního klopného obvodu 8 nastaví do logického stavu „0“ a rychlá spínací jednotka 9 se vypne po průchodu proudem I_{0AC} nulou. Pokud dojde k dalšímu splnění podmínky $u_Z(t) > U_K$, bude monostabilní klopný obvod 8 opět reagovat na výstupní signál napěťového komparačního obvodu 7 a vygeneruje opět zapínací povel pro rychlou spínací jednotku 9. Aby nedocházelo k opakovanému zapínání rychlé spínací jednotky 9 je vhodné nastavit dobu T delší, než je očekávaná doba trvání nesymetrických poruch v síti.

Na obr. 4 je znázorněn příklad zapojení komparačně spínacího obvodu 4 obsahujícího napěťový komparační obvod 7 pro porovnání okamžité hodnoty napětí U_Z mezi uzlem 1 a zemí 2, která je na schématu označena jako $u_Z(t)$, s předem nastavenou komparační hodnotou U_K . Dále komparačně spínací obvod 4 obsahuje amplitudový komparační obvod proudu 12 s měřením proudu 13, klopný obvod 10 s prioritní funkcí a rychlou spínací jednotku 9 tvořenou výkonovými spínacími polovodičovými součástkami (například spínací tranzistory IGBT, tyristory, vypínací tyristory GTO, triaky).

- Zapojení podle obr. 4 pracuje tak, že v běžném provozním režimu je rychlá spínací jednotka 9 v rozepnutém stavu a nevede proud. Pokud okamžitá hodnota napětí U_Z mezi uzlem 1 sítě a zemí 2, která je na schématu označena jako $u_Z(t)$, se zvýší nad hodnotu komparačního napětí U_K , vygeneruje napěťový komparační obvod 7 signál na úrovni logické „1“. Tento signál je přiveden na vstup klopného obvodu 10, který na výstupu vygeneruje zapínací signál pro rychlou spínací jednotku 9. Rychlá spínací jednotka 9 sepne a překlene omezující impedanci 5. Tím na omezující impedanci 5 poklesne napětí U_Z téměř na nulovou hodnotu a napěťový komparační obvod 7 zruší signál o překročení hodnoty komparačního napětí U_K . Na vstupu klopného obvodu 10 bude úroveň logického signálu „0“. Výstup „Q“ klopného obvodu 10 zůstává na úrovni logické „1“ a rychlá spínací jednotka 9 je stále sepnutá. Rychlou spínací jednotkou 4 dále protéká proud I_{0AC} . Amplitudový komparační obvod proudu 12 vyhodnocuje amplitudu měřeného proudu 13 protékajícího mezi uzlem sítě 1 a zemí 2. Pokud je amplituda proudu I_{0AC} nižší než nastavená komparační úroveň proudu I_K , je na výstupu amplitudového komparačního obvodu proudu 12 vygenerován signál o logické úrovni „1“. Tento signál je přiveden na vstup klopného obvodu 10. Pokud je na vstupu klopného obvodu 10 logická „1“ a na dalším vstupu téhož klopného obvodu logická „0“, je na výstupu klopného obvodu 10 nastavena logická úroveň „0“, a tím dojde k vypnutí rychlé spínací jednotky 9. Proud I_{0AC} bude opět protékat pouze přes omezující impedanci 5.

- Na obr. 5 je znázorněn příklad zapojení ochranného obvodu 3 s jednopólovým spínačem 6 a s komparačně spínacím obvodem 4. Komparačně spínací obvod 4 obsahuje napětový komparační obvod 7 pro porovnání okamžité hodnoty napětí U_Z mezi uzlem 1 a zemí 2, která je na schématu označená jako $u_Z(t)$, s předem nastavenou komparační hodnotou U_K . Dále komparačně spínací obvod 4 obsahuje amplitudový komparační obvod proudu 12 s měřením proudu 13, klopný obvod 10 s prioritní funkcí a rychlou spínací jednotku 9 tvořenou výkonovými spínacími polovodičovými součástkami (například spínací tranzistory IGBT, tyristory, vypínací tyristory GTO, triaky).
- Zapojení podle obr. 5 pracuje tak, že v běžném provozním režimu je rychlá spínací jednotka 9 v rozepnutém stavu a nevede proud. Pokud okamžitá hodnota napětí U_Z mezi uzlem 1 sítě a zemí 2, která je na schématu označená jako $u_Z(t)$, se zvýší nad hodnotu komparačního napětí U_K , vygeneruje napětový komparační obvod 7 signál na úrovni logické „1“. Tento signál je přiveden na vstup klopného obvodu 10 a dále přes rozpínací kontakt jednopólového spínače 6 je přiveden na vstup monostabilního klopného obvodu 8. Klopný obvod 10 na výstupu vygeneruje zapínací signál pro rychlou spínací jednotku 9. Zároveň monostabilní klopný obvod 8 vygeneruje zapínací povel pro jednopólový spínač 6. Po sepnutí rychlé spínací jednotky 9 dojde k překlenutí omezující impedance 5. Tím na omezující impedanci 5 poklesne napětí U_Z téměř na nulovou hodnotu a napětový komparační obvod 7 zruší signál o překročení hodnoty komparačního napětí U_K . Na vstupu klopného obvodu 10 bude úroveň logického signálu „0“. Výstup klopného obvodu 10 zůstává na úrovni logické „1“ a rychlá spínací jednotka 9 je stále sepnutá. Rychlou spínací jednotkou 4 dále protéká proud I_{0AC} .

- Monostabilní klopný obvod 8 bude mít na výstupu logickou „1“ po dobu T . Tím je zajištěno, že proběhne zapnutí jednopólového spínače 6 i po ztrátě signálu z napětového komparačního obvodu 7. Zapínání jednopólového spínače 6 může trvat desítky ms. Po zapnutí jednopólového spínače 6 se rozpojí pomocné rozpínací kontakty jednopólového spínače 6. Zároveň se sepne pomocný spínací kontakt jednopólového spínače 6. Ochranným obvodem 3 zapojeným paralelně k omezující impedanci 5 může protékat proud I_{0AC} .

- Pokud amplituda proudu I_{0AC} poklesne pod zadanou komparační úroveň I_K , je amplitudovým komparačním obvodem proudu 12 generován signál o poklesu proudu I_{0AC} . Protože je jednopólový spínač 6 zapnutý, je jeho pomocný rozpínací kontakt v rozepnutém stavu a signál z amplitudového komparačního obvodu proudu 12 se nedostane na vstup klopného obvodu 10. Tím nemůže dojít k vypnutí rychlé spínací jednotky 9 dříve než k vypnutí jednopólového spínače 6. Tento signál je rovněž přiveden přes pomocný spínací kontakt jednopólového spínače 6 na jeho vypínací obvod. Po vypnutí jednopólového spínače 6 se sepne pomocný rozpínací kontakt jednopólového spínače 6 a tím se přivede signál o poklesu proudu I_{0AC} i na vstup klopného obvodu 10. Na výstupu klopného obvodu 10 bude logická „0“. Tím se vypne i rychlá spínací jednotka 9. Proud I_{0AC} bude opět protékat pouze přes omezující impedanci 5.

- Řízení rychlé spínací jednotky 9 lze doplnit i o možnost jejího vypínání při sepnutém jednopólovém spínací 6. Pokud jednopólový spínač 6 není schopen spínat nebo vypínat velké proudy, musí být rychlá spínací jednotka 9 sepnuta vždy při změně stavu jednopólového spínače 6.

- Na obr. 6 je znázorněn příklad zapojení ochranného obvodu 3 s jednopólovým spínačem 6 a s komparačně spínacím obvodem 4. Komparačně spínací obvod 4 obsahuje proudový komparační obvod 11 pro porovnání okamžité hodnoty proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem 1 a zemí 2, která je na schématu označená jako $i(t)$, s předem nastavenou komparační hodnotou I_K . Dále komparační spínací obvod 4 obsahuje amplitudový komparační obvod proudu 12 s měřením proudu 13, klopný obvod 10 s prioritní funkcí a rychlou spínací jednotku 9 tvořenou výkonovými spínacími polovodičovými součástkami (například spínací tranzistory IGBT, tyristory, vypínací tyristory GTO, triaky).

Zapojení podle obr. 6 pracuje tak, že v běžném provozním režimu je rychlá spínací jednotka 9 a jednopólový spínač 6 v rozepnutém stavu a nevedou proud. Hodnota proudu I_{0AC} je z měření proudu 13 proudovým snímačem předávána do proudového komparačního obvodu 11 a do amplitudového komparačního obvodu proudu 12. Pokud okamžitá hodnota proudu $i(t)$, tekoucí mezi uzlem 1 sítě a zemí 2, překročí předem zadanou komparační hodnotu proudu I_K , tedy $i(t) > I_K$, proudový komparační obvod 11 vygeneruje na svém výstupu signál na úrovni logické „1“. Tento signál je přiveden na vstup klopného obvodu 10 a dále přes rozpínací kontakt jednopólového spínače 6 na vstup monostabilního klopného obvodu 8. Klopný obvod 10 na výstupu vygeneruje zapínací signál pro rychlou spínací jednotku 9. Zároveň monostabilní klopný obvod 8 vygeneruje zapínací povel pro jednopólový spínač 6. Po sepnutí rychlé spínací jednotky 9 dojde k překlenutí omezující impedance 5. Tím na omezující impedanci 5 poklesne napětí U_Z téměř na nulovou hodnotu. Na vstupu klopného obvodu 10 bude úroveň logického signálu „1“ po celou dobu, dokud je splněna podmínka $i(t) > I_K$. Při průchodu proudu I_{0AC} nulou, v rámci síťové frekvence, bude docházet ke krátkodobému zrušení uvedené podmínky. Výstup klopného obvodu 10 zůstává však stále na úrovni logické „1“ bez ohledu na změny stavu jeho vstupu. Rychlá spínací jednotka 9 zůstává sepnutá. Monostabilní klopný obvod 8 bude mít na výstupu logickou „1“ po zadanou dobu T . Tím je zajištěno, že proběhne zapnutí jednopólového spínače 6 bez ohledu na změny stavu výstupu z proudového komparačního obvodu 11. Zapínání jednopólového spínače 6 může trvat desítky ms. Po zapnutí jednopólového spínače 6 se rozpojí pomocné rozpínací kontakty jednopólového spínače 6. Zároveň se sepne pomocný spínací kontakt jednopólového spínače 6. Ochranným obvodem 3 připojeným paralelně k omezující impedanci 5 může protékat proud I_{0AC} .

Pokud amplituda proudu I_{0AC} poklesne pod zadanou komparační úroveň I_K , je amplitudovým komparačním obvodem proudu 12 generován signál o poklesu proudu I_{0AC} . Protože je jednopólový spínač 6 zapnutý, je jeho pomocný rozpínací kontakt v rozepnutém stavu a signál z amplitudového komparačního obvodu proudu 12 se nedostane na vstup klopného obvodu 10. Tím nemůže dojít k vypnutí rychlé spínací jednotky 9 dříve než k vypnutí jednopólového spínače. Tento signál je rovněž přiveden přes pomocný spínací kontakt jednopólového spínače 6 na jeho vypínací obvod. Po vypnutí jednopólového spínače 6 se sepne pomocný rozpínací kontakt jednopólového spínače 6 a tím se přivede signál o poklesu proudu I_{0AC} i na vstup klopného obvodu 10. Na výstupu klopného obvodu 10 bude logická „0“. Tím se vypne i rychlá spínací jednotka 9. Proud I_{0AC} bude opět protékat pouze přes omezující impedanci 5.

Stejně jako u příkladu zapojení dle obr. 5 je řízení rychlé spínací jednotky 9 možné rovněž doplnit o její vypínání při sepnutém jednopólovém spínači 6. Pokud jednopólový spínač 6 není schopen spínat nebo vypínat velké proudy, musí být rychlá spínací jednotka 9 sepnuta vždy při změně stavu jednopólového spínače 6.

Z předchozích příkladů je možné ukázat přínosy vynálezu v porovnání s doposud známým řešením v následujícím souhrnu.

V případě klasického řešení, kdy by ke spínání ochranného obvodu 3 byl místo rychlé spínací jednotky 9 použit silový vypínač, by bylo nutné uvažovat s rychlostí spínání 30 ms až 70 ms. Za tuto dobu dosáhne napětí U_Z opakovaně amplitudy fázového napětí sítě. Z tohoto důvodu by muselo být celé provedení uzemnění uzlu 1 sítě a prvků ochranného obvodu 3 dimenzováno na hodnotu fázového napětí sítě, a to včetně případně omezující impedance 5.

Naproti tomu při využití rychlého sepnutí ochranného obvodu 3 v čase od dosažení komparační hodnoty, tj. U_K nebo I_K , do okamžiku dosažení amplitudy napětí U_Z dle popsaného vynálezu, dojde k omezení velikosti napětí U_Z . Omezení napětí U_Z je závislé na rychlosti připínání ochranného obvodu 3. V konkrétním příkladu lze použít rychlou spínací jednotku 9, která sepne ochranný obvod 3 například do 100 ns od doby překročení nastavené komparační úrovně pro napětí U_Z . Pokud zároveň v uvedené době nedojde k dosažení amplitudy napětí U_Z , bude navýšení napětí U_Z za stanovenou dobu menší než 1 % z fázové hodnoty napětí sítě. Maximální nárůst napětí U_Z je při jednofázovém zkratu v síti. Například pro jednofázový zkratový proud I_{0AC}

v síti 400 kV lze při využití výše popsaného rychlého sepnutí ochranného obvodu 3 dosáhnout maximální hodnoty zvýšení napětí U_Z v řádech stovek voltů až jednotek tisíc voltů. Z uvedených hodnot je zřejmé, že vysokou rychlostí sepnutí ochranného obvodu 3 je možné dosáhnout výrazně nižší hodnoty napětí U_Z než je hodnota fázového napětí sítě. Proto lze v případě použití tohoto řešení dimenzovat celé provedení uzemnění uzlu 1 sítě na napětí v řádech stovek voltů až jednotek tisíc voltů.

V síti s přímo uzemněným uzlem 1 může při jednofázovém zkratu protékat uzlem 1 sítě jednofázový zkratový proud. Doba trvání zkratového proudu je závislá na nastavené časové charakteristice příslušných ochranných v síti nebo v uzlu 1 sítě. Pro zajištění spolehlivé funkce ochranného obvodu 3 je pak nutné ochranný obvod 3, komparačně spínací obvod 4 i jednopólový spínač 6 dimenzovat na zkratové proudy, a to včetně doby trvání zkratových proudů.

Pokud v běžném provozním stavu sítě je amplituda vyrovnávacího proudu I_{0AC} nižší než hodnota stejnosměrného proudu I_{DC} tekoucího uzlem 1 sítě, nebude výsledný proud daný součtem I_{0AC} a I_{DC} měnit polaritu ani procházet nulou. To znamená, že komparačně spínací obvod 4 musí být zapojen tak, aby jeho prvky umožňovaly vypínat i tento výsledný stejnosměrný proud. Běžné diody a tyristory neumožňují vypínání stejnosměrného proudu. To je nutné vzít v úvahu zejména při použití antiparalelně zapojených diod 14, 15. Vypínání ochranného obvodu 3 je pak nutné zajistit způsobem, který se používá pro vypínání stejnosměrných proudů polovodičovými prvky.

Na obr. 7 je znázorněn komparačně spínací obvod 4 obsahující pouze rychlou spínací jednotku 9. Tato rychlá spínací jednotka 9 je tvořena antiparalelně zapojenými výkonovými diodami 14 nebo „n“ sériově řazenými antiparalelně zapojenými výkonovými diodami 15, kde minimální hodnota přirozeného čísla „n“ je rovna 1.

Použití tohoto zapojení je výhodné pouze v omezené množině případů. Lze jej využít zejména tam, kde mezi uzlem 1 sítě a zemí 2 je dostatečně nízké napětí U_Z i stejnosměrné napětí ΔU_{DC} . Pro funkci tohoto obvodu je důležitá velikost napětí U_D , což je katalogová hodnota minimálního napětí potřebného k otevření konkrétní použité diody 14 v propustném směru. Pokud je amplituda napětí U_Z nižší než $n \cdot U_D$, budou za běžného provozního stavu diody 15 uzavřeny a nepovedou proud. Při zvýšení okamžité hodnoty napětí U_Z nad hodnotu $n \cdot U_D$ se diody 15 v propustném směru automaticky otevrou. Na jednotlivých diodách 14 v závěrném směru bude pouze velikost napětí U_D , tj. napětí diody 14 v propustném směru. Po průchodu proudu nulou, v důsledku změny směru toku proudu, se otevřené diody 15 automaticky uzavírají. Pokud v další půlperiodě dojde opět ke zvýšení okamžité hodnoty napětí U_Z nad hodnotu $n \cdot U_D$, otevřou se antiparalelně zapojené diody 15, které byly v předchozí půlperiodě v závěrném směru. Tento komparačně spínací obvod 4 nepotřebuje ke své činnosti žádné řízení. Pro použití tohoto zapojení můžeme vhodnou volbou omezující impedance 5 ovlivnit velikosti napětí U_Z . Zvýšením počtu „n“ sériově řazených antiparalelně zapojených diod 15, můžeme zvýšit požadovanou úroveň napětí $U_K = n \cdot U_D$. Například napětí U_D je pro křemikové diody 14 cca 0,6V až 0,7V. Pokud je napětí U_Z při běžném provozním stavu vyšší než napětí U_D , je nutné použít adekvátní počet sériově řazených antiparalelně zapojených diod 15. Velikost napětí U_Z mezi uzlem 1 sítě a zemí 2 bude pak dosahovat hodnoty odpovídající součinu „n“ sériově řazených antiparalelně zapojených diod 15 a velikosti napětí U_D .

Výhodu jednoduchosti toto zapojení lze využít v případech, kdy v běžném provozním stavu sítě protéká jejím uzlem 1 malý vyrovnávací proud I_{0AC} , který na omezující impedanci 5 vyvolá úbytek napětí U_Z v řádu desetin voltů až jednotek voltů. Zároveň musí platit, že amplituda střídavého proudu I_{0AC} bude větší než hodnota stejnosměrného proudu I_{DC} .

Na obr. 8 jsou znázorněny průběhy okamžitých hodnot napětí U_Z na omezující impedanci 5, neboli napětí mezi uzlem 1 sítě a zemí 2:

1. křivka: znázornění průběhu okamžité hodnoty sinusového napětí U_Z na omezující impedanci $\underline{5}$ bez spínání ochranného obvodu $\underline{3}$,
2. křivka: průběh okamžité hodnoty napětí U_Z na omezující impedanci $\underline{5}$, a to při zapínání ochranného obvodu $\underline{3}$ vždy při překročení komparační hodnoty U_K okamžitou hodnotou napětí U_Z a vypínání ochranného obvodu $\underline{3}$ vždy při každém průchodu proudem nulovou hodnotou,
3. křivka: průběh okamžité hodnoty napětí U_Z na omezující impedanci $\underline{5}$, a to při zapnutí ochranného obvodu $\underline{3}$ při překročení komparační hodnoty U_K okamžitou hodnotou napětí U_Z a vypnutí ochranného obvodu $\underline{3}$ až po poklesu amplitudy proudu I_{0AC} pod předem zadanou komparační mez proudu I_K .

Výkonové polovodičové prvky se při průchodu proudem nulou vypínají. Pokud připnutým ochranným obvodem $\underline{3}$ poteče nulový proud, bude i napětí U_Z nulové. Po odpojení ochranného obvodu $\underline{3}$ dojde k jeho opětovnému sepnutí až po nárůstu napětí U_Z nad jeho komparační úroveň U_K . To se bude opakovat každou půl periodu protékajícího střídavého proudu I_{0AC} . Tím budou vznikat napěťové špičky o vysoké frekvenci, které se budou šířit do sítě a vyzařovat elektromagnetické rušivé pole (obr. 8). Ochranný obvod $\underline{3}$ se tak po dobu průtoku zvýšené hodnoty proudu I_{0AC} uzlem $\underline{1}$ sítě stává zdrojem vysokofrekvenčního elektromagnetického rušení. Aby k výše popsanému jevu nedocházelo, je komparačně spínací obvod $\underline{4}$ vybaven řízením, které zajistí jeho trvalé sepnutí až do doby poklesu amplitudy proudu I_{0AC} protékajícího uzlem $\underline{1}$ sítě pod úroveň I_K . Pro vysoké výkony a napětí je vhodné komparačně spínací obvod $\underline{4}$ doplnit paralelně připojeným jednopólovým spínačem $\underline{6}$, který po sepnutí komparačně spínaného obvodu $\underline{4}$ sepne a propojí uzel $\underline{1}$ sítě přímo se zemí $\underline{2}$. Po poklesu proudu I_{0AC} na běžnou provozní hodnotu je komparačně spínací obvod $\underline{4}$ a jednopólový spínač $\underline{6}$ vždy automaticky vypnut. Trvalé sepnutí alespoň jednoho ze spínačů $\underline{4}$ a $\underline{6}$ po dobu trvání zvýšeného průtoku vyrovnávacího proudu I_{0AC} uzlem $\underline{1}$ sítě omezuje tvorbu vysokofrekvenčního rušení.

Průmyslová využitelnost

Způsobu a zapojení pro omezení velikosti napětí mezi uzlem sítě a zemí lze využít zejména v sítích s přímo uzemněným uzlem nebo s uzlem uzemněným přes impedanci, která je zapojena mezi uzlem sítě a zemí a zabráňuje průtoku stejnosměrného proudu I_{DC} uzlem sítě. Využití vynálezu je vhodné především pro sítě vn, vvn a zvn.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob omezení velikosti napětí U_Z mezi uzlem (1) a zemí (2) ve střídavé elektrické síti, **vyznačující se tím**, že mezi uzel (1) a zem (2) se připojí komparačně spínací obvod (4), následně se pomocí komparačně spínacího obvodu (4) kontinuálně porovnává okamžitá hodnota napětí U_Z s předem určenou komparační hodnotou U_K , a/nebo se kontinuálně porovnává okamžitá hodnota proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem (1) a zemí (2) s předem určenou komparační hodnotou I_K , a je-li okamžitá hodnota napětí $U_Z \geq U_K$, a/nebo je-li okamžitá hodnota proudu $I_{0AC} \geq I_K$, pak sepnutím komparačně spínacího obvodu (4) se propojí uzel (1) se zemí (2) přes komparačně spínací obvod (4), přičemž sepnutí se provádí v časovém intervalu t_1 až t_2 , kde t_1 je čas odpovídající dosažení okamžité hodnoty napětí $U_Z = U_K$, a/nebo okamžité hodnoty proudu $I_{0AC} = I_K$, a t_2 je čas dosažení amplitudy sinusového napětí U_Z .
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že ve střídavé elektrické síti, ve které je mezi uzlem (1) a zemí (2) zapojena omezující impedance (5) zejména pro omezení bludného stejnosměrného proudu I_{DC} tekoucího uzlem (1), se komparačně spínací obvod

(4) zapojí paralelně k omezující impedanci (5), přičemž po sepnutí komparačně spínacího obvodu (4) se omezí velikosti napětí U_Z mezi uzlem (1) a zemí (2).

- 5 3. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že ve střídavé elektrické síti s přímo uzemněným uzlem (1) se pro omezení bludného stejnosměrného proudu I_{DC} tekoucího uzlem (1) odpojí uzel (1) od země (2) a mezi uzel (1) a zem (2) se zapojí komparačně spínací obvod (4), přičemž po sepnutí komparačně spínacího obvodu (4) se omezí velikost napětí U_Z mezi uzlem (1) a zemí (2).
- 10 4. Způsob podle nároku 2, **vyznačující se tím**, že se dále paralelně k omezující impedanci (5) mezi uzel (1) a zem (2) zapojí jednopólový spínač (6), který je řízen komparačně spínacím obvodem (4), a který po sepnutí komparačně spínacího obvodu (4) propojí uzel (1) přímo se zemí (2).
- 15 5. Způsob podle nároku 3, **vyznačující se tím**, že se mezi uzel (1) a zem (2) zapojí jednopólový spínač (6), který je řízen komparačně spínacím obvodem (4), a který po sepnutí komparačně spínacího obvodu (4) propojí uzel (1) přímo se zemí (2).
- 20 6. Způsob podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že je-li amplituda proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem (1) a zemí (2) větší než předem určená komparační hodnota I_K , a to alespoň pro jednu nebo více po sobě následujících period, pak komparačně spínací obvod (4) zůstává v sepnutém stavu i v okamžiku průchodu střídavého vyrovnávacího proudu I_{0AC} nulou dle síťové frekvence.
- 25 7. Způsob podle některého z nároků 1 až 5, **vyznačující se tím**, že komparačně spínací obvod (4) zůstává v sepnutém stavu po předem nastavenou dobu i v okamžiku průchodu střídavého vyrovnávacího proudu I_{0AC} nulou dle síťové frekvence.
- 30 8. Zapojení pro omezení velikosti napětí U_Z mezi uzlem (1) a zemí (2) ve střídavé elektrické síti, zejména při výskytu bludného stejnosměrného proudu I_{DC} , způsobem podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že mezi uzel (1) a zem (2) je zapojen komparačně spínací obvod (4), obsahující buď alespoň jednu dvojici antiparalelně zapojených diod (14, 15), nebo kombinaci alespoň jednoho z komparačních obvodů (7, 11) s rychlou spínací jednotkou (9), kde napěťový komparační obvod (7) je uzpůsoben pro porovnání okamžité hodnoty napětí U_Z s předem určenou komparační hodnotou U_K , proudový komparační obvod (11) je uzpůsoben pro porovnání okamžité hodnoty proudu I_{0AC} tekoucího mezi uzlem (1) a zemí (2) s předem určenou komparační hodnotou I_K , přičemž rychlá spínací jednotka (9), nebo antiparalelně zapojené diody (14, 15), jsou uzpůsobeny pro sepnutí komparačně spínacího obvodu (4) propojujícího uzel (1) a zem (2) v čase ležícím v intervalu t_1 až t_2 , kde t_1 je pro napěťový komparační obvod (7) čas dosažení okamžité hodnoty napětí $U_Z = U_K$, pro antiparalelně zapojené diody (14, 15) je t_1 čas dosažení okamžité hodnoty napětí $U_Z = n \cdot U_D$, kde v součinu $n \cdot U_D$ je U_D velikost minimálního napětí nutného k otevření diody (14) v propustném směru a „ n “ je počet sériově řazených antiparalelně zapojených diod (15) a pro proudový komparační obvod (11) je t_1 čas dosažení okamžité hodnoty proudu $I_{0AC} = I_K$, t_2 je čas dosažení amplitudy sinusového napětí U_Z .
- 35 40 45 9. Zapojení podle nároku 8, **vyznačující se tím**, že napěťový komparační obvod (7) je tvořen obvodem kontinuálního porovnávání okamžité hodnoty napětí U_Z s předem určenou komparační hodnotou U_K , s výstupem „1“ pro okamžitou hodnotu napětí $U_Z \geq U_K$ a s výstupem „0“ pro okamžitou hodnotu napětí $U_Z < U_K$, kde proudový komparační obvod (11) je tvořen obvodem pro porovnávání okamžité velikosti proudu I_{0AC} s předem zadanou komparační hodnotou proudu I_K s výstupem „1“ pro okamžitou hodnotu proudu $I_{0AC} \geq I_K$ a s výstupem „0“ pro okamžitou hodnotu proudu $I_{0AC} < I_K$, a že rychlá spínací jednotka (9) je tvořena alespoň jedním spínacím prvkem, ze skupiny triak, diak, dvojice antiparalelně zapojených diod, tyristorů nebo GTO tyristorů, spínací tranzistor (IGBT).
- 50 55

10. Zapojení podle nároku 8 nebo 9, **vyznačující se tím**, že mezi uzel (1) a zem (2) je dále připojený jednopólový spínač (6), který je ovládán komparačně spínacím obvodem (4).

5

8 výkresů

10

Seznam vztahových značek:

1	uzel
2	zem
3	ochranný obvod
4	komparačně spínací obvod
5	omezující impedance
6	jednopólový spínač
7	napětíový komparační obvod
8	monostabilní klopný obvod
9	rychlá spínací jednotka
10	klopný obvod
11	proudový komparační obvod
12	amplitudový komparační obvod proudu
13	měření proudu I_{0AC} mezi uzlem a zemí
14	antiparalelně zapojené diody
15	„n“ sériově řazených skupin antiparalelně zapojených diod

Tr_1, Tr_2 ... třífázové transformátory s vinutím zapojeným do hvězdy

I_{0AC} střídavý proud protékající mezi uzlem sítě a zemí

I_{DC} stejnosměrný proud protékající mezi uzlem sítě a zemí

I_{ZDC} stejnosměrný proud tekoucí zemí

U_Z okamžité napětí mezi uzlem sítě a zemí

ΔU_{DC} stejnosměrné napětí mezi uzly sítě Tr_1 a Tr_2 vyvolané průtokem stejnosměrného proudu I_{ZDC} zemí

R, C odpor, kondenzátor – prvky, které mohou tvořit omezující impedanci

$u_z(t)$ okamžitá hodnota napětí mezi uzlem sítě a zemí

$i(t)$ okamžitá hodnota měřeného proudu tekoucího mezi uzlem sítě a zemí

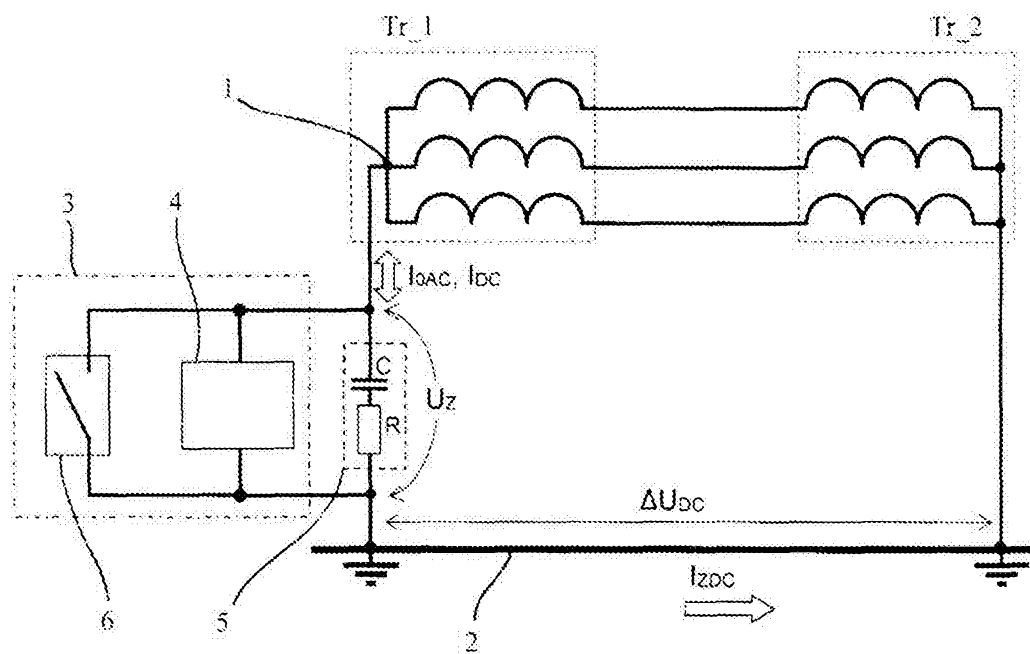
U_K komparační hodnota napětí

I_K komparační hodnota proudu

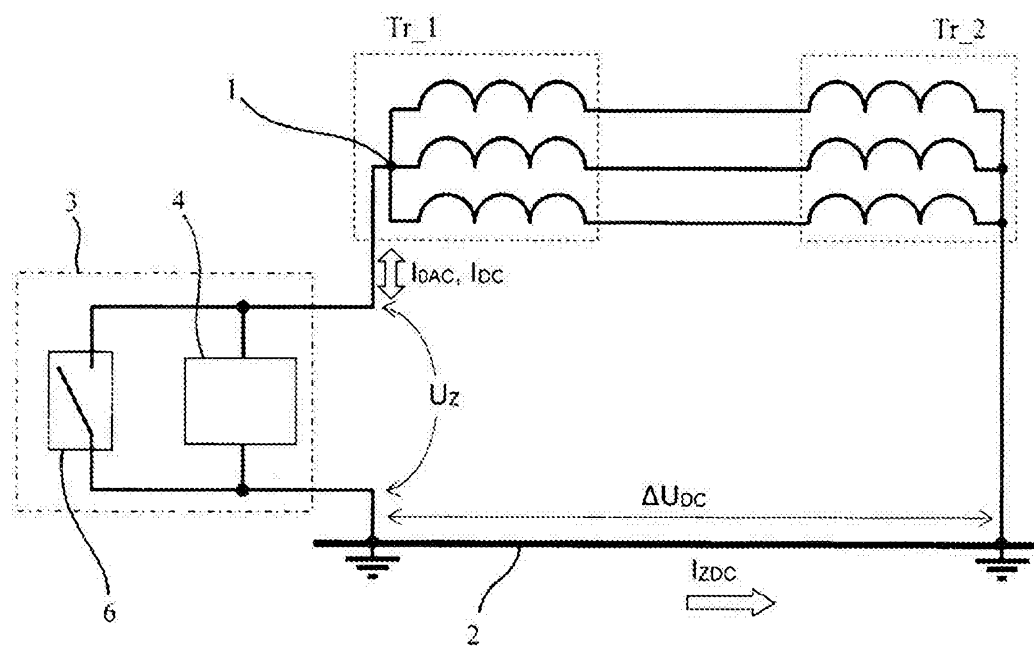
MKO monostabilní klopný obvod

AZD antiparalelně zapojené diody

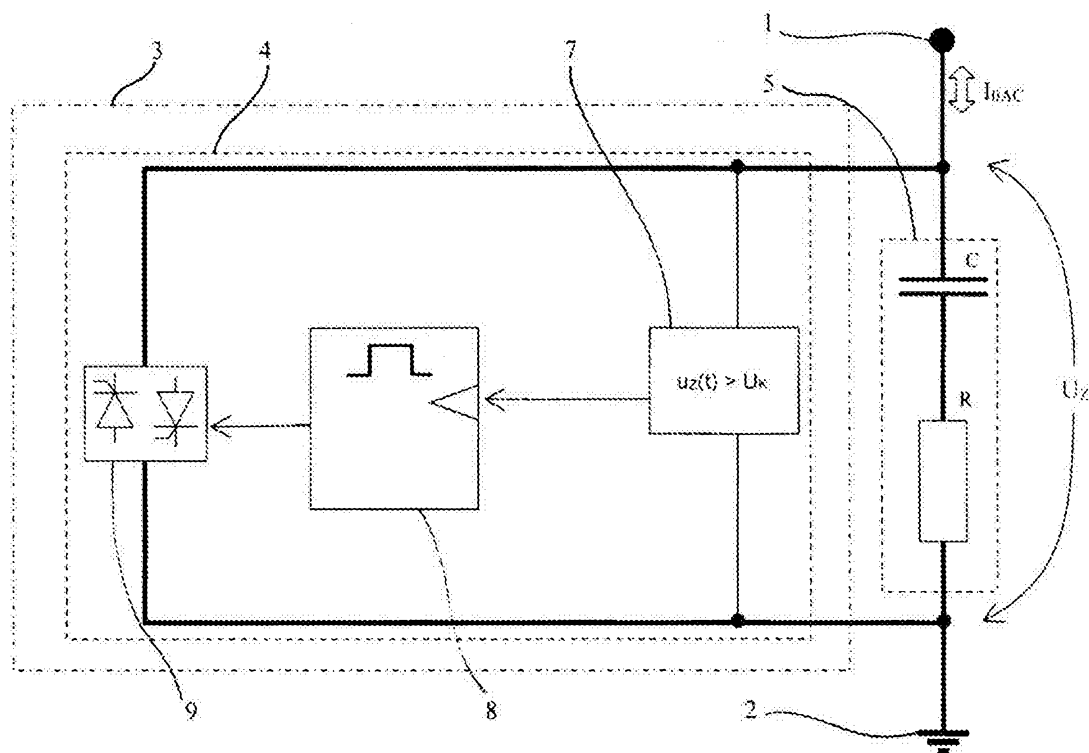
n.AZD „n“ sériově řazených skupin antiparalelně zapojených diod



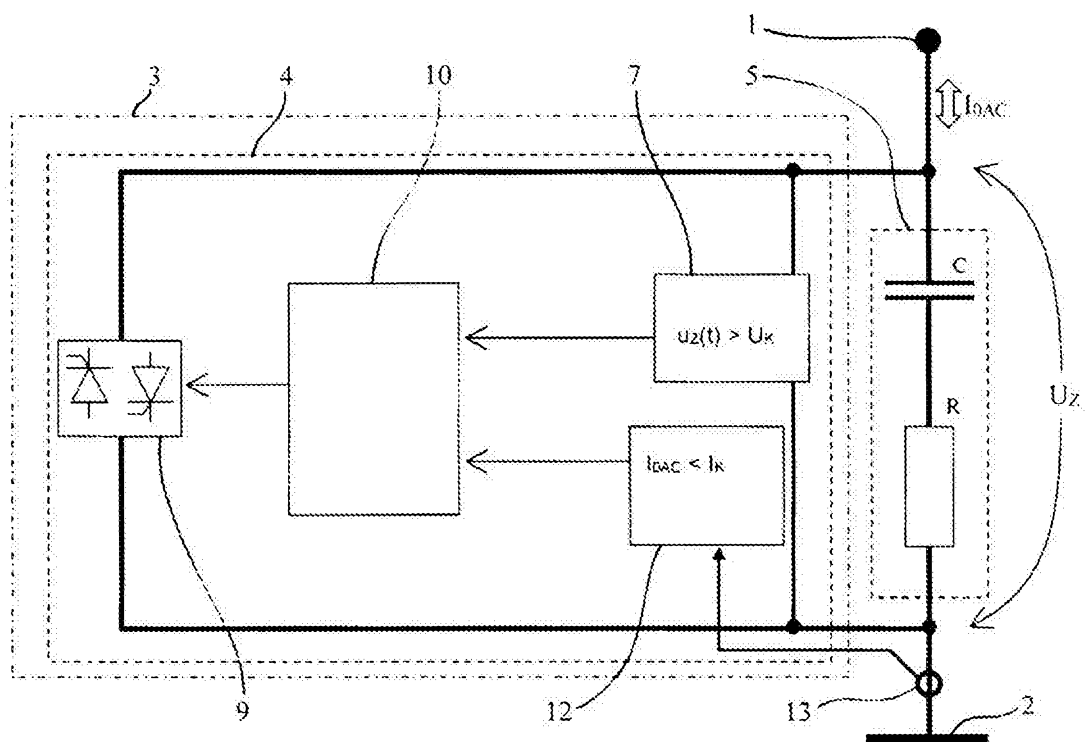
Obr. 1



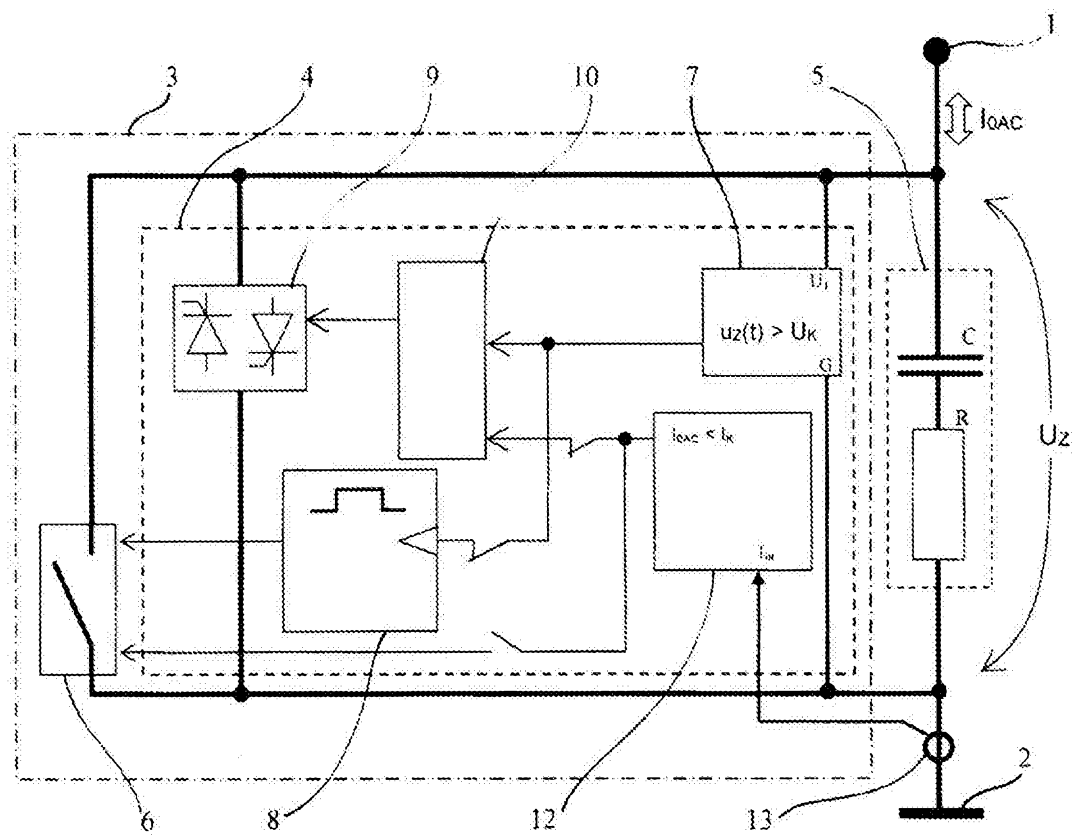
Obr. 2



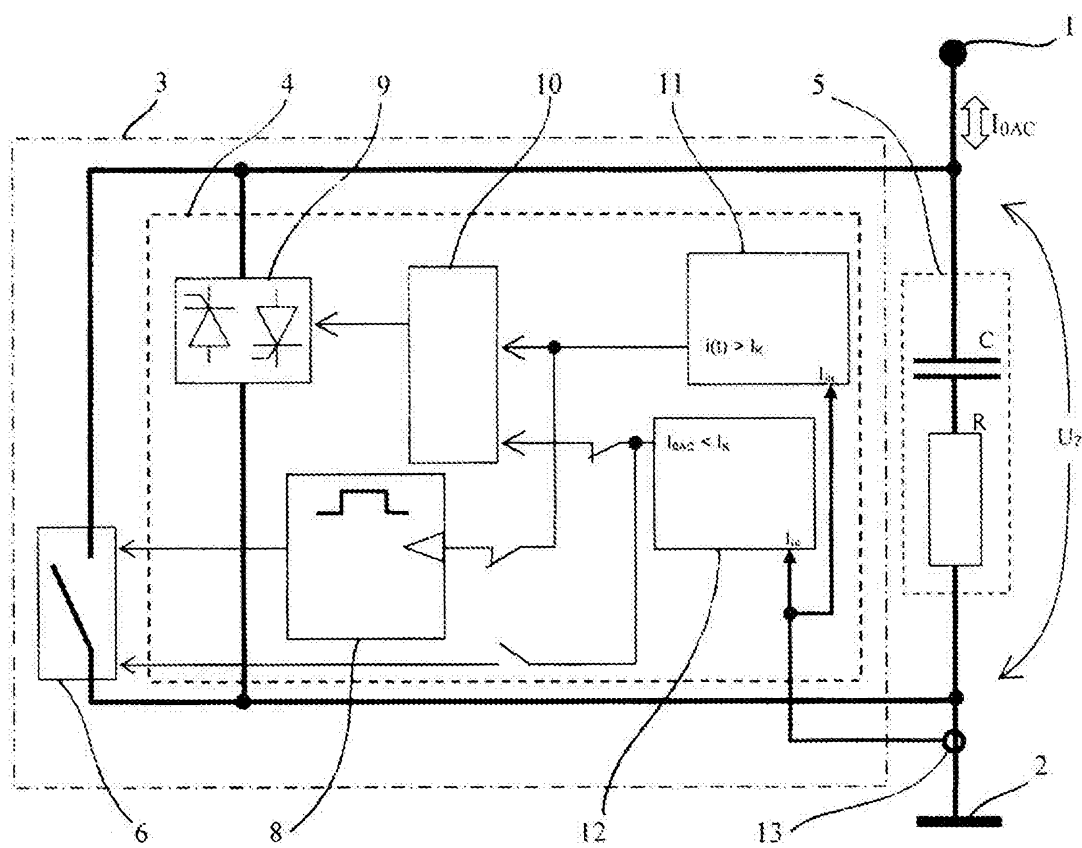
Obr. 3



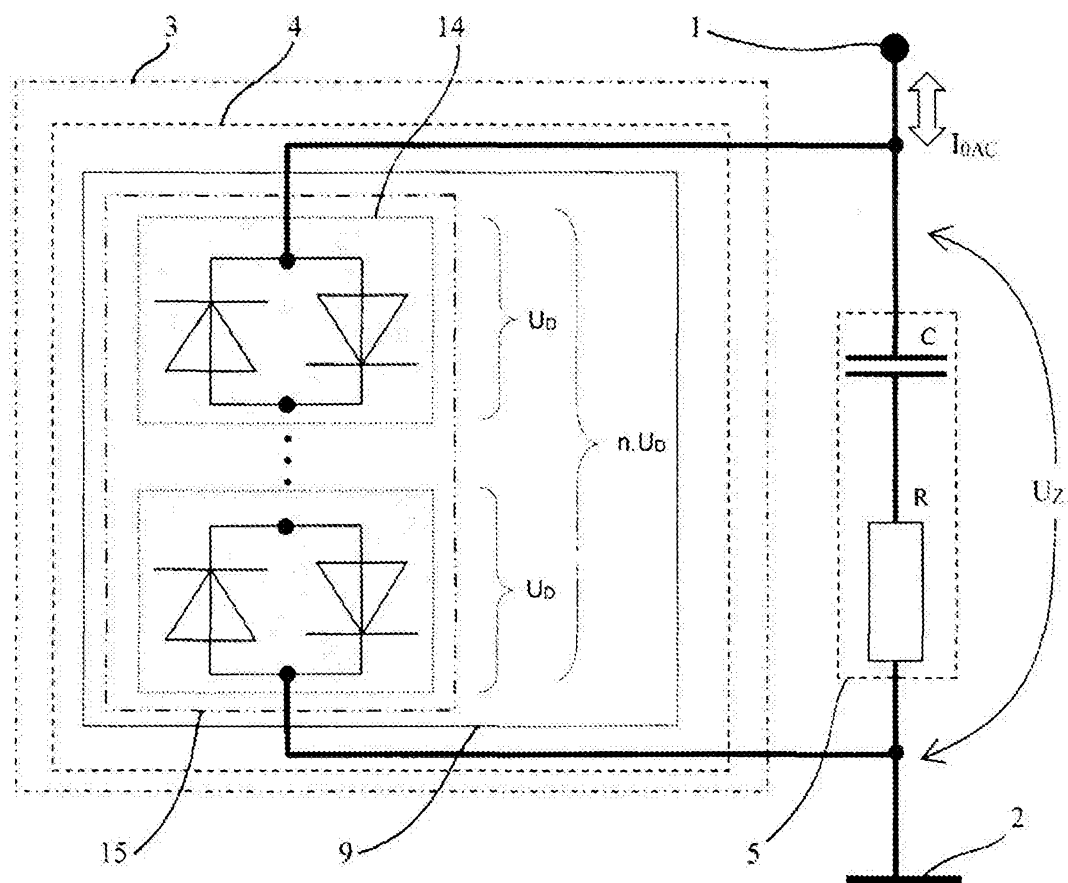
Obr. 4



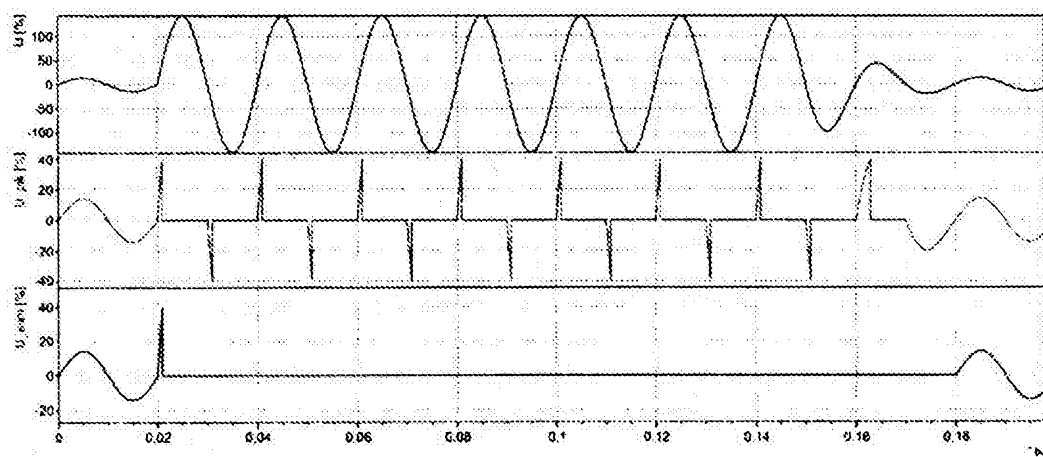
Obr. 5



Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8