

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: 2014-581
(22) Přihlášeno: 28.08.2014
(40) Zveřejněno: 09.03.2016
(Věstník č. 10/2016)
(47) Uděleno: 10.02.2021
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: 24.03.2021
(Věstník č. 12/2021)

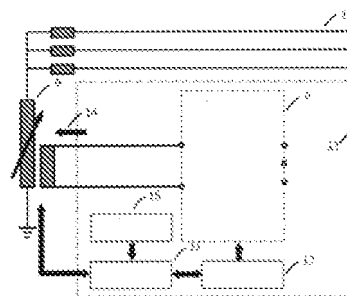
H02H 9/08 (2006.01)
H02H 9/00 (2006.01)
H02J 13/00 (2006.01)
H02J 3/26 (2006.01)
H02H 7/26 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:
CN 203674711 U.; CN 100362719 A.; CN 103474979 A.; CN 203261028 U.; CN 102801151 A.,

(73) Majitel patentu:
EGE, spol.s r.o., České Budějovice, CZ
(72) Původce:
Ing. Ivan Matuljak, Ph.D., Adamov, CZ
Ing. Petr Vančata, Choustník, CZ
(74) Zástupce:
PatentCentrum Sedlák & Partners s.r.o., Okružní
2824, 370 01 České Budějovice, České Budějovice
3

(54) Název vynálezu:
**Způsob a zařízení pro automatické
nastavení plynule a/nebo diskrétně laditelné
zhášecí tlumivky v kompenzované síti
elektrické soustavy**

(57) Anotace:
Způsob automatického nastavení zhášecí tlumivky (9) využívající pomocného signálu (14) přiváděného do bodu netočivé složky elektrické soustavy (10). Pomocný signál (14) je tvořen proudem nebo napětím s proměnnou úhlovou frekvencí a je využíván pro stanovení rezonanční úhlové frekvence ω_{rez} aktuálního stavu elektrické soustavy (10), která se porovnává se základní úhlovou frekvencí ω_s (10). Zhášecí tlumivka (9) je pak laděna směrem k požadovanému rezonančnímu stavu L_{Srez} . Pomocný signál (14) použitý pro ladění zhášecí tlumivky (9) také může obsahovat minimálně jednu dvojici komplementárních frekvenčních složek se stejně velkou amplitudou, jejichž úhlová frekvence ω_i , ω_{ii} je volena tak, aby hodnota odezvy elektrické soustavy (10) na pomocný signál (14) pro obě tyto komplementární úhlové frekvence ω_i , ω_{ii} byla shodně velká právě v tom bodě naladění, kde obvod pro základní úhlovou frekvenci ω_s dosahuje rezonančního stavu. Pro ladění zhášecí tlumivky (9) je využito zařízení (13) obsahující generátor (8) pomocného signálu připojený do nulového bodu soustavy (10), vyhodnocovací jednotku (11) a řídicí jednotku (12), přičemž zařízení (13) je opatřeno hardwarovými prostředky a softwarovým modulem (15) řízení frekvence pomocného signálu (14) a vyhodnocováním odezvy elektrické soustavy (10) pro provádění způsobu automatického nastavení zhášecí tlumivky (9) podle vynálezu.



Způsob a zařízení pro automatické nastavení plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky v kompenzované síti elektrické soustavy

5 Oblast techniky

Vynález se týká oblasti elektrotechniky a energetiky, konkrétně způsobu a zařízení pro automatické nastavení zhášecí tlumivky, která kompenzuje zemní poruchové proudy, které vznikají jako důsledek poruch mezi některou fází elektrické soustavy a zemním potenciálem.

10

Dosavadní stav techniky

Pro kompenzaci zemních poruchových proudů, které vznikají v místě zemní poruchy některé fáze elektrické rozvodné soustavy, nazývané též „jednofázová zemní porucha“ nebo „zemní spojení“, se jako základní kompenzační zařízení využívá zemní plynule a/nebo diskrétně laditelná zhášecí tlumivka, tzv. Petersonova tlumivka, zapojená mezi uzel soustavy, nazývaný též „nulový nebo neutrální bod soustavy“, obvykle tvořený uzlem napájecího transformátoru, případně „uzlem speciálního zemního transformátoru“ a zemní potenciál. Tato zhášecí tlumivka pracuje na rezonančním principu, kdy se induktivní reaktance zhášecí tlumivky nastaví na stejně velikou hodnotu jako je celková kapacitní reaktance rozvodné soustavy vůči zemnímu potenciálu. Při vzniku zemní poruchy správně naladěná zhášecí tlumivka kompenzuje zemní poruchový proud.

Smyslem ladění zhášecích tlumivek je určit celkovou kapacitu sítě vůči zemnímu potenciálu a reaktanci tlumivky nastavit do stavu rezonance s touto kapacitou. Ladění zhášecí tlumivky se provádí podle známých metod, které lze rozdělit do dvou skupin.

Jednou skupinou jsou rezonanční metody, kdy je sledováno napětí nulového bodu sítě proti zemi. Napětí nulového bodu sítě se také nazývá „napětí uzlu sítě“, nebo „napětí nulového systému“, případně „napětí netočivé složky“. Napětí nulového bodu sítě je vyvolané přirozenou nesymetrií fázových kapacit sítě vůči zemnímu potenciálu. Toto napětí se mění podle stavu rozladění rezonančního obvodu pro základní frekvenci sítě a maxima dosahuje právě v bodu dosažené rezonance. Ladicí proces podle rezonančních metod spočívá ve změně reaktance zhášecí tlumivky a ve sledování vyvolané změny napětí uzlu sítě. Při každém pokusu o nalezení rezonančního stavu je tak nutné měnit nastavení tlumivky, a to i v případě, že je tlumivka naladěna správně a tento stav je nutné pouze ověřit.

Druhou skupinou ladicích metod jsou metody založené na použití pomocného signálu vysílaného do sítě, zpravidla právě do jejího nulového bodu, a sledování a vyhodnocování odezvy v napětí uzlu sítě proti zemní poruše na tento generovaný pomocný signál. Metody založené na použití pomocného signálu jsou popsány v následujících patentových dokumentech.

Podle dokumentu CZ 85552 je známo zařízení k vyladění zhášecích tlumivek. Zařízení ke kontrole vyladění srovnává vektory napětí budicího a napětí na zhášecí tlumivce, a jako ukazatele vyladění je použito katodové trubice, na jejíž horizontální systém vychylovacích destiček je přivedeno napětí z budicího transformátoru přes dělič budicího napětí, a na vertikální systém se přivádí napětí z měřicího vinutí zhášecí tlumivky přes regulační transformátor nebo elektronkový zesilovač.

Zařízení popsané v dokumentu SU 860207 slouží ke stabilizaci rezonančního stavu reaktance zhášecí tlumivky a kapacitní reaktance rozvodné soustavy. Zařízení obsahuje čidlo sledovaného parametru, kterým je napětí nebo proud netočivé složky, dále spínací element pro ovládání zhášecí tlumivky, nízkofrekvenční generátor, který se připojuje k rozvodné soustavě přes modulátor a filtr typu pásmové propusti, dva amplitudové detektory a porovnávací blok. Činnost tohoto zařízení spočívá v tom, že generátor produkuje periodický signál o frekvenci Ω , která je menší než frekvence ω rozvodné soustavy do netočivé složky rozvodné soustavy, např. přes pomocné vinutí

zhášecí tlumivky. Signál snímaný čidlem v sobě obsahuje dvě harmonické složky $\omega \pm \Omega$. Amplitudy, resp. absolutní hodnoty těchto složek jsou pomocí filtrů typu pásmová propust přiváděny na dva amplitudové detektory. Tyto dva signály nesou informaci o stavu rezonance zhášecí tlumivky a rozvodné soustavy. V porovnávacím bloku se provede rozdíl amplitud. Pokud je rozdíl nulový, je zhášecí tlumivka naladěná do rezonance s rozvodnou soustavou.

V dokumentu EP 0595677 je popsán známé zařízení a postup k vyladění a rozladění stavu kompenzace tím, že se injektuje pomocný signál do obvodu uzlu sítě, přičemž se měří změny nulového napětí indukované zmíněnou injektáží pomocného signálu a měří se amplituda a fázový posun impedance prováděním změny nulového napětí s měřicím pomocným signálem. Pomocný signál se injektuje v sérii nebo paralelně s kompenzační tlumivkou a může být injektován přes pomocný nulový transformátor. Zařízení má charakter zdroje proudu, který využívá pomocné napětí příslušné síťové rozvodny. Nulový transformátor obsahuje sekundární vinutí, které dodává v případě přímého zemního spojení v síti nízké napětí a dále zdroj proudu zahrnuje odpor několika desítek ohmů, který je připojen na pomocné napětí rozvodny. Generovaný proud vzniká jako důsledek připojení pomocného napětí rozvodny přes reaktanci induktivního charakteru do obvodu uzlu sítě a má tudíž stejnou frekvenci jak rozvodná soustava.

Z dokumentu CZ 286527 je znám způsob kontroly trojfázové sítě na změnu sladění zemnicí cívky, kde se průběžně měří napětí v nulovém bodě a srovnává se s tolerančním rozsahem a oznámí se opuštění tolerančního rozsahu změny sladění. Na zemnicí cívku se kontinuálně působí pomocným signálem, který vyvolává zvýšení napětí v nulovém bodě. Napětí v nulovém bodě se kontinuálně srovnává se spodní prahovou hodnotou, pod kterou nelze měřit změny napětí v nulovém bodě s dostatečnou citlivostí. Při překročení prahové hodnoty se na zemnicí cívku trvale působí pomocným signálem k vyvolání zvýšení napětí v nulovém bodě. K manuálnímu nebo automatickému sladění zemnicí cívky na zvolený stupeň kompenzace se v případě změny diskrétně nebo kontinuálně v hodnotě a/nebo fázi mění připojený pomocný signál, ze kterého se zjistí pomocí komplexního srovnání změny napětí v nulovém bodě se změnou pomocného signálu rozladění zemnicí cívky. Zemnicí cívka se nastaví na základě rozladění na zvolený stupeň kompenzace. Pomocný signál se mění přepólováním jeho fází. Působení pomocným signálem na zemnicí cívku se provádí přímým připojením pomocného proudu do zemnicího bodu trojfázové sítě nebo připojením do pomocného vinutí cívky.

Metoda selektivní identifikace a lokalizace vysokoohmových zemních spojení v elektrických sítích s kompenzovaným uzlem, při které se střed sítě napájí nejméně jedním pomocným signálem o síťové frekvenci $\omega_{sítě}$ je detailně popsána v dokumentu EP 1307753. Dále je v tomto dokumentu popsán postup pro vyladění zhášecí tlumivky v síti se síťovou frekvencí $\omega_{sítě}$, kde se využívá nejméně jeden další pomocný signál o frekvenci ω_i , která je různá od síťové frekvence. Pomocný signál o frekvenci ω_i v podobě proudu vyvolá nulové napětí středu sítě o stejné frekvenci ω_i jako má pomocný signál. Trvale jsou měřeny amplitudy a fáze nulového napětí a pomocného proudu, ze kterých se určí admitance a konduktance všech zemních odboček sítě a admitance a konduktance zhášecí tlumivky. Pomocný signál může obsahovat více frekvenčních složek, kde se pro každou frekvenční složku ω_i vypočítají příslušné admitance a konduktance. Velikosti proudů různých frekvenčních složek jsou voleny tak, aby byly efektivní hodnoty jimi vyvolaných nulových napětí ve středu sítě menší než 10% efektivní hodnoty základní harmonické složky fázového napětí sítě. Dle vypočtených a zjištěných parametrů regulátor nastaví zhášecí tlumivku do žádoucí kompenzace, podkompenzace nebo překompenzace a zaznamená příslušné parametry. Potřebný pomocný signál je vytvářen v signálním generátoru. Generátor generuje specifický pravoúhlý signál, který je dále upravován filtrací v nízkofrekvenční propusti.

V dokumentu DE 10307668 je popsán způsob určení parametrů kompenzované sítě bez rozladování tlumivky spočívající v řadě postupných kroků, kdy je nejprve do nulového systému sítě přiváděn proud složený především ze dvou složek s obecně různou amplitudou a frekvencí. Měřeny jsou tyto frekvenční složky v napětí uzlu sítě co do velikosti i úhlu. V dalších krocích jsou pro použité dvě frekvence vypočteny admitance sítě opět co do velikosti i úhlu. Řešením vzniklé

soustavy komplexních rovnic jsou určeny jednotlivé parametry sítě, tedy její celková kapacita proti zemi, indukčnost zhášecí tlumivky a aktuální rozladění rezonančního obvodu. Pro případ, kdy je měřeno napětí nulové složky v síti nikoli v jejím uzlu, ale na svorkách transformátoru, je popsán postup zohledňující ovlivnění měřených napětí indukčností transformátoru, jehož výsledkem je rovněž stanovení kapacity sítě, indukčnosti tlumivky a rozladění obvodu. Přivádění proudu pomocného signálu se provádí buď do uzlu napájecího transformátoru nebo do tzv. tvořiče umělé nuly sítě a to buď přes pomocný transformátor nebo přes výkonové vinutí zhášecí tlumivky. Nový měřicí cyklus vyvolá změna základní harmonické složky napětí uzlu sítě. Použité dvě frekvenční složky přiváděného pomocného signálu jsou voleny tak, že jejich frekvence je blízko rezonanční frekvenci sítě. Metoda umožňuje vypočítat i rozdělení nesymetrie na jednotlivé fáze, velikost injektovaného proudu je regulována při dosažení maximální změny napětí uzlu sítě.

Známa zařízení pro automatické nastavení zemní plynule a/nebo diskrétně laditelné tlumivky využívající pomocného signálu připojovaného do nulového bodu sítě pracují principiálně shodně v tom smyslu, že využívají signál nebo signály dané frekvence shodné nebo rozdílné od jmenovité frekvence sítě, měří a určitým způsobem vyhodnocují napětíovou odezvu o odpovídající frekvenci (frekvencích) rezonančního obvodu tvořeného zhášecí tlumivkou a kapacitou sítě.

Nevýhoda známých zařízení a způsobů pro automatické nastavení zemní plynule a/nebo diskrétně laditelné tlumivky spočívá v tom, že jimi sledované signály mají frekvenci shodnou nebo relativně blízkou ke jmenovité frekvenci sítě, takže pro stavy, kdy je rezonanční obvod tlumivky a kapacity sítě výrazně rozladěný pro základní frekvenci sítě, je nutná vysoká hodnota použitého pomocného signálu pro vyvolání měřitelné odezvy na napětí uzlu sítě. Je proto nutné použít generátor pomocného signálu s velkým výkonem, který je drahý, rozměrný a má velkou hmotnost. Tento problém vyniká především u rozsáhlejších sítí s velice malým útlumem, kdy při výrazném rozladění obvodu pro frekvence blízké jmenovité frekvenci sítě nelze výslednou napětíovou odezvu měřit s přesností dostatečnou pro vyhodnocení naladění daného rezonančního obvodu. Obecně je u známých zařízení pro potřebnou změnu úrovně sledovaného signálu využíváno změny velikosti pomocného signálu.

Známa zařízení rovněž pro generování pomocného signálu využívají různých způsobů spínání buď obdélníkových napětíových pulzů nebo napětí základní frekvence sítě, čímž vznikají signály se širokým frekvenčním spektrem, ze kterých je nutné analogově nebo digitálně filtrovat pouze relativně malou část nesoucí informaci nutnou pro vyhodnocování stavu naladění rezonančního obvodu. Tato část signálu je pak využívána k výpočtům mnoha parametrů sítě, jejichž výsledky jsou výrazně ovlivňovány přesností měření daných složek výsledného proudu pomocného signálu a napětíové odezvy rezonančního obvodu. Nastavování zhášecí tlumivky je proto nepřesné, musí se mnohokrát opakovat měřicí a vyhodnocovací cyklus a často se překročí optimální hodnota indukčnosti zhášecí tlumivky, takže se proces nastavení prodlužuje. Velká část energie využitá pro generování pomocného signálu je přitom pro vyhodnocení stavu sítě ztracena. Hodnoty pomocného proudového signálu jsou řízeny nepřímo změnou spínání pomocného napětí, pro různé stavy vyladění rezonančního obvodu a pro různé hodnoty přirozené nesymetrie sítě je tak přiváděn různý proudový signál.

Úkolem vynálezu je proto nalezení takového způsobu a zařízení pro automatické nastavení zemní plynule a/nebo diskrétně laditelné tlumivky, který umožní vyhodnocení stavu naladění rezonančního obvodu tvořeného zhášecí tlumivkou a celkovou kapacitou sítě proti zemnímu potenciálu ve všech reálně uvažovatelných stavech jeho rozladění i pro velice rozsáhlé sítě elektrizační soustavy. Výsledný způsob vyhodnocení musí být energeticky nenáročný a přitom odolný vůči chybám měření malých signálů, aniž by bylo nutné využívat ke zvýšení přesnosti měření a vyhodnocení pouze zvyšování úrovně použitých pomocných signálů.

Podstata vynálezu

- 5 Vytčený úkol je dosažen vytvořením způsobu a zařízení pro automatické nastavení plynule a/nebo diskrétně laditelné zhašecí tlumivky v kompenzované síti elektrické soustavy podle předloženého vynálezu. Správné nastavení laditelné zhašecí tlumivky zajišťuje kompenzaci kapacitní složky poruchového zemního proudu, který vzniká jako důsledek zemních poruch v jednom z fázových vodičů elektrické soustavy, typicky například v elektrické distribuční soustavě.
- 10 Vynález je založen na nové multifrekvenční metodě, jejíž podstatu lze charakterizovat jako generování a přivádění pomocného proudového nebo napětového signálu s plynule proměnnou, diskrétně proměnnou nebo spektrálně složenou úhlovou frekvencí s dvojicemi komplementárních frekvenčních složek, a využití těchto speciálně generovaných frekvenčních složek novým způsobem k vyladění zhašecí tlumivky a ke kompenzaci soustavy.
- 15 Způsob podle vynálezu lze provádět ve dvou variantách, které jsou založeny na společném principu proměnné úhlové frekvence, případně více úhlových frekvencí, pomocného signálu a na jednoduchém způsobu využití odezvy soustavy bez nutnosti složitých výpočtů a s minimálními nároky na přesnost měření.
- 20 Podstata prvního způsobu nastavení zemní plynule a/nebo diskrétně laditelné zhašecí tlumivky podle předloženého vynálezu spočívá v tom, že se provede frekvenční analýza rezonančního obvodu, který je tvořen indukčností zhašecí tlumivky a kapacitou elektrické soustavy proti zemi. Pomocný signál je přiveden do bodu netočivé složky elektrické soustavy v podobě proudu nebo
- 25 napětí s proměnnou úhlovou frekvencí. Frekvence pomocného signálu může být plynule proměnná nebo diskrétně proměnná, mění se s výhodou v rozmezí od 10 do 250 Hz. Po dobu přivádění pomocného signálu se mění napětí $u_0(\omega)$ nebo proud $i_0(\omega)$ netočivé složky v závislosti na změně úhlové frekvence. Při vyhodnocování měřeného napětí $u_0(\omega)$ netočivé složky se hledá taková úhlová frekvence ω_{rez} , kdy velikost efektivní a/nebo maximální hodnoty měřeného napětí $u_0(\omega)$ je největší. Obdobně se postupuje při vyhodnocování měřeného proudu $i_0(\omega)$ netočivé složky, kde velikost efektivní a/nebo maximální hodnoty měřeného proudu $i_0(\omega)$ je nejmenší. Pak úhlová frekvence odpovídá právě rezonanční úhlové frekvenci ω_{rez} . Je-li nalezená rezonanční úhlová frekvence ω_{rez} větší než základní úhlová frekvence ω_s elektrické soustavy je zhašecí tlumivka přeladěná tzn., elektrická soustava je překompenzována. Je-li nalezená rezonanční úhlová
- 35 frekvence ω_{rez} menší než základní úhlová frekvence ω_s elektrické soustavy, je zhašecí tlumivka podladěná tzn., elektrická soustava je podkompenzována. Pokud je nalezená rezonanční úhlová frekvence ω_{rez} právě rovná úhlové frekvenci elektrické soustavy ω_s je zhašecí tlumivka vyladěná tzn., elektrická soustava je vykompenzována. Hodnota ω_{rez} v porovnání s hodnotou ω_s tak určuje směr ladění zhašecí tlumivky. Kroky podle prvního způsobu se cyklicky opakují, až je dosaženo vyladění zhašecí tlumivky a kompenzace elektrické soustavy požadovanou přesností. Na základě zjištěné hodnoty rezonanční úhlové frekvence ω_{rez} se v každém okamžiku může stanovit celková kapacita C soustavy proti zemi podle vztahu $C = \frac{1}{\omega_{rez}^2 * L}$, kde L je indukčnost zhašecí tlumivky, nebo výsledná indukčnost všech zhašecích tlumivek v elektrické soustavě. Hodnota celkové kapacity C soustavy se zobrazuje jako základní informace o aktuálním rozsahu elektrické soustavy.
- 45 První způsob lze využít k automatickému nastavení zhašecí tlumivky samostatně, ale je náročnější na výpočetní výkon vyhodnocovací jednotky a řídicí jednotky generátoru pomocného signálu v průběhu procesu ladění.
- 50 Druhý způsob nastavení zemní plynule a/nebo diskrétně laditelné zhašecí tlumivky podle předloženého vynálezu spočívá v tom, že pro každou úhlovou frekvenci ω_i různou od základní úhlové frekvence ω_s elektrické soustavy, lze určit takovou komplementární úhlovou frekvenci ω_{ii} , která leží pod nebo nad velikostí základní úhlové frekvence rozvodné soustavy ω_s , ze vztahu $\omega_i =$

$\frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$. Pro takto určenou dvojici komplementárních frekvenčních složek resp., jejich úhlových frekvencí ω_i a ω_{ii} platí, že odezva soustavy na pomocné signály těchto frekvencí se shodnou amplitudou je v absolutní a/nebo efektivní hodnotě shodně velká právě v situaci, kdy rezonanční obvod tvořený kapacitou sítě a indukčností zhašecí tlumivky je v rezonanci pro základní úhlovou frekvenci sítě ω_s . Pomocný signál musí obsahovat nejméně dvě komplementární frekvenční složky o úhlových frekvencích ω_i a ω_{ii} , ale při zpřesňování nastavení zhašecí tlumivky je možné využít několika dvojic komplementárních frekvenčních složek. Obě komplementární frekvenční složky jedné dvojice pomocného signálu mohou být plynule proměnné a/nebo diskrétně proměnné, ale vždy je zachováno pravidlo, že úhlová frekvence ω_i jedné komplementární složky je podílem kvadrátu základní úhlové frekvence ω_s soustavy a úhlové frekvence ω_{ii} druhé komplementární frekvenční složky, tedy $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$, kde ω_i a ω_{ii} jsou úhlové frekvence první a druhé komplementární frekvenční složky. Vyhodnocováním měřeného napětí nebo proudu netočivé složky se hledá taková poloha zhašecí tlumivky, kde velikosti efektivních a/nebo maximálních hodnot měřeného napětí nebo proudu obou komplementárních frekvenčních složek s úhlovými frekvencemi ω_i a ω_{ii} si jsou rovny. I druhý způsob podle vynálezu lze využít k nastavení zhašecí tlumivky samostatně. Na základě změřené odezvy elektrické soustavy při provádění druhého způsobu podle vynálezu je potom velmi snadno možné stanovit aktuální útlum G nulového systému elektrické soustavy, a hodnotu aktuálního rozladění ΔB_s zhašecí tlumivky, případně všech zhašecích tlumivek připojených do nulových bodů elektrické soustavy. Návazně se může stanovit i aktuální indukčnost L zhašecí tlumivky resp., součet aktuálních indukčností všech zhašecích tlumivek připojených do nulových bodů elektrické soustavy, a kapacita celé elektrické soustavy proti zemi.

Pokud sledované napětí nebo proud odezvy soustavy klesne pod nebo překročí předem zvolenou limitní hodnotu, úhlové frekvence obou frekvenčních složek ω_i a ω_{ii} se plynule a/nebo diskrétně změní podle zmíněného podílu, tak aby odezva soustavy byla v toleranci, přitom stále musí být zachován podíl $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$. Předem definované limitní hodnoty se určují specificky pro každou elektrickou soustavu, a jsou určeny požadavky přesnosti měření, tj. velikostí hodnot napětí nebo proudu, které jsou ještě způsobitelné pro zachycení jejich změn, a také požadavkem na omezení napětí netočivé složky, které by při příliš vysoké hodnotě mohlo způsobit nežádoucí vysokou hodnotu fázové napětíové nesymetrie soustavy případně nežádoucí funkci signalizaci zemního spojení.

Jako jednu z komplementárních úhlových frekvencí ω_i lze na počátku ladícího postupu s výhodou využít rezonanční frekvenci sítě ω_{rez} zjištěnou frekvenční analýzou rezonančního obvodu podle prvního způsobu nastavení zemní plynule a/nebo diskrétně laditelné zhašecí tlumivky. K ní se pak určí komplementární úhlová frekvence ω_K , splňující podmínku $\omega_K = \frac{\omega_s^2}{\omega_{rez}}$. Ve výhodném provedení vynálezu, tak lze oba alternativní způsoby nastavení zhašecí tlumivky spojit ve vzájemné posloupnosti, přičemž je dosahováno nejlepších a nejpřesnějších výsledků nastavení zhašecí tlumivky, jejího vyladění a provozování sítě v kompenzovaném stavu. Všechny varianty způsobu nastavení zhašecí tlumivky lze aplikovat jak v bezporuchovém stavu elektrické soustavy, tak s výhodou i při zemním spojení v době trvající zemní poruchy v síti elektrické soustavy.

Volbou ω_{rez} jako jedné z komplementárních úhlových frekvencí je zajištěno, že odezva sítě v počáteční fázi ladění zhašecí tlumivky podle druhého způsobu bude pro tuto frekvenční složku pomocného signálu dostatečná, resp., v toleranci potřebné pro přesnost měření, přičemž v situaci, kdy aktuální rozladění soustavy nebude příliš velké, nebude s velkou pravděpodobností nutné v průběhu ladění měnit frekvence použitých komplementárních složek pomocného signálu.

První i druhý způsob nastavení zhašecí tlumivky podle vynálezu umožňuje bezproblémový provoz a především možnost současného ladění libovolného počtu paralelně pracujících zhašecích tlumivek v jedné elektrické soustavě připojených do jednoho nebo více různých nulových bodů elektrické soustavy. Zařízení využívající způsobu ladění podle vynálezu vyhodnocuje okamžitě pouze odezvu elektrické soustavy v jedné veličině (napětí nebo proud) pro danou komplementární

dvojici úhlových frekvencí pomocného signálu. Při způsobu ladění zhášecích tlumivek podle vynálezu nejsou využívány postupy nebo výpočty, které jsou ovlivněny činností dalších zařízení ladicích ostatní zhášecí tlumivky paralelně zapojené v téže soustavě, na rozdíl od dosud známých způsobů nastavení zhášecí tlumivky.

5

Podstata zařízení pro nastavení zemní plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky podle předloženého vynálezu spočívá v tom, že provádí požadované změny úhlové frekvence pomocného signálu a/nebo generování nejméně jedné dvojice komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu podle uvedených způsobů. Zařízení nastavuje nejen různé velikosti úhlové frekvence pomocného signálu, ale i velikosti jeho amplitud a úhly fázových posunů. Podle výhodného provedení vynálezu vyhovuje těmto požadavkům zařízení založené na bázi frekvenčního měniče. Řízení a regulace frekvence, amplitud a úhlů fázového posuvu pomocného signálu(ů) se provádí pomocí odpovídajících softwarových a hardwarových prostředků, např. pomocí řídicích systémů založených na technologii *DSP* (Digital Signal Processor) mikrokontrolérů a/nebo programovatelných logických polí *FPGA* (Field Programmable Gate

15

Array).

V prvním výhodném provedení zařízení podle vynálezu, určeném pro provádění prvního způsobu automatického nastavení alespoň jedné plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky v kompenzované síti elektrické soustavy jsou vyhodnocovací jednotka odezvy elektrické soustavy, řídicí jednotka a generátor pomocného signálu upraveny pro generování pomocného signálu s možností plynulé nebo diskrétní změny úhlové frekvence, amplitudy a úhlu fázového posunu, a zařízení je opatřeno hardwarovými a softwarovými prostředky pro provádění automatického nastavení zhášecí tlumivky podle prvního způsobu.

25

Ve druhém výhodném provedení zařízení podle vynálezu, určeném pro provádění druhého způsobu automatického nastavení alespoň jedné plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky v kompenzované síti elektrické soustavy, jsou vyhodnocovací jednotka odezvy elektrické soustavy, řídicí jednotka a generátor pomocného signálu upraveny pro generování pomocného signálu obsahujícího alespoň jednu dvojici komplementárních frekvenčních složek se stejnou amplitudou a s úhlovými frekvencemi (ω_i, ω_{ii}) , pro které platí vztah $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$, kde ω_s je základní úhlová frekvence soustavy, přičemž $\omega_i \neq \omega_s$, a zařízení je opatřeno hardwarovými a softwarovými prostředky pro provádění automatického nastavení zhášecí tlumivky podle druhého způsobu. U tohoto zařízení je dále výhodné, když řídicí jednotka a generátor pomocného signálu jsou upraveny i pro plynulou nebo diskrétní změnu úhlových frekvencí (ω_i, ω_{ii}) dvojic komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu, jejich amplitud a úhlů fázového posunu.

35

Je celá řada možností provedení hardwaru výše popsaných zařízení, přičemž tyto možnosti jsou odborníkovi známy. Je ale důležité, aby zařízení obsahovalo softwarový modul řízení úhlové frekvence pomocného signálu pro plynulou nebo diskrétní změnu úhlové frekvence pomocného signálu a/nebo pro generování alespoň jedné dvojice komplementárních frekvenčních složek s úhlovými frekvencemi (ω_i, ω_{ii}) podle vztahu $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$, kde ω_s je základní úhlová frekvence soustavy.

40

Také tento softwarový modul řízení úhlové frekvence pomocného signálu a vyhodnocování odezvy elektrické soustavy je s výhodou upraven pro plynulou nebo diskrétní změnu úhlových frekvencí (ω_i, ω_{ii}) dvojic komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu, jejich amplitud a úhlů fázového posunu, a s výhodou je součástí vyhodnocovací jednotky a/nebo řídicí jednotky.

45

Zapojení zařízení podle vynálezu do elektrické soustavy je výhodné v provedeních, kde generátor pomocného signálu je připojen do alespoň jednoho bodu netočivé složky elektrické soustavy prostřednictvím alespoň jednoho zařízení ze skupiny: jednofázový transformátor, zhášecí tlumivka, zemní transformátor, Bauchův transformátor.

50

Předmětem vynálezu je dále i program vyhodnocovací jednotky a/nebo řídicí jednotky generátoru pomocného signálu v zařízení pro automatické nastavení plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky v kompenzované síti elektrické soustavy, který zahrnuje instrukce pro provádění prvního nebo druhého způsobu automatického nastavení zhášecí tlumivky, případně pro způsob vzniklý spojením prvního a druhého způsobu.

Způsob a zařízení pro automatické nastavení zhášecí tlumivky podle vynálezu přináší celou řadu výhod oproti známým způsobům a zařízením, zejména se jedná o následující výhody:

Pro vlastní proces ladění zhášecí tlumivky není nutné měření samotného pomocného signálu. Pro základní proces ladění nejsou využívány výpočty parametrů soustavy citlivé na přesnost měření pomocného signálu a odpovídající odezvy rezonančního obvodu tvořeného kapacitou elektrické soustavy a indukčností zhášecí tlumivky, případně více zhášecích tlumivek.

Vysílání pomocného signálu a vyhodnocování odezvy elektrické soustavy na něj je možné provádět trvale i během probíhající změny naladění rezonančního obvodu, tedy například v průběhu ladění zhášecí tlumivky nebo při změnách rozsahu tzn., kapacity elektrické soustavy. Není nutné, aby po dobu měření byl rezonanční obvod v ustáleném stavu. Díky trvalému porovnávání odezvy elektrické soustavy na minimálně dvou komplementárních frekvencích je při použití předkládaného druhého způsobu ladění trvale znám aktuální stav naladění (podkompenzováno, překompenzováno, vyladěno). Známé způsoby vyžadují provádění výpočtů parametrů elektrické soustavy z hodnot změřených v ustáleném stavu (v klidovém stavu tlumivky, bez změn sítě).

Pro dosažení změny velikosti odezvy elektrické soustavy na pomocný signál není nutné měnit velikost tohoto pomocného signálu, pouze se využije pro aktuální stav elektrické soustavy vhodnějších frekvencí pomocného signálu. Ani pro soustavy s velkou hodnotou zemního kapacitního proudu, tzn., pro soustavy velkého rozsahu, není nutné ve srovnání se známými způsoby a zařízeními výrazně zvyšovat výkon a tím i náklady na zařízení sloužící ke generování pomocných signálů pro vyladění zhášecích tlumivek.

Paralelní spolupráce více systémů ladění zapojených v jedné elektrické soustavě využívajících způsobu ladění zhášecích tlumivek podle vynálezu je pro základní úlohu nalezení rezonance bezproblémová i bez nutnosti jejich propojení, tzn., že není nutné zřizovat za tímto účelem zvláštní komunikační trasy. Dosud známá zařízení vyžadují pro umožnění paralelní spolupráce více systémů ladění zapojených do jedné elektrické soustavy využití komunikačních prostředků pro vzájemnou spolupráci. Obvykle je tato spolupráce realizována tak, že jedno zařízení řídí funkci ostatních zařízení pracujících do téže sítě. U složitých elektrických soustav s mnoha možnostmi konfigurace je realizace všech relevantních komunikačních propojení velice náročná a nákladná, což způsob a zařízení podle vynálezu zcela odstraňuje.

Objasnění výkresů

Vynález bude blíže objasněn pomocí výkresů, na nichž znázorňují:

Obr.1 křivku 1 napětí nulového systému $|u_0(\omega)|$ jako frekvenční odezvy elektrické soustavy na generovaný pomocný proudový signál s plynule proměnnou frekvencí ω , křivku 2 proudu nulového systému $|i_0(\omega)|$ jako frekvenční odezvy soustavy na generovaný napěťový signál s plynule proměnnou úhlovou frekvencí ω ,

obr.2 rezonanční křivky elektrické soustavy v závislosti na proměnném naladění rezonančního obvodu (proměnné indukčnosti zhášecí tlumivky) pro pomocné proudové signály různé úhlové frekvence,

obr.3 příklad zapojení zařízení podle vynálezu,

obr. 4 blokové schéma zapojení zařízení podle vynálezu.

5

Příklady uskutečnění vynálezu

10 Rozumí se, že dále popsané 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.

15 První příklad uskutečnění způsobu automatického nastavení zhášecí tlumivky 9 pro kompenzaci elektrické soustavy 10 podle vynálezu využívá frekvenční analýzy rezonančního obvodu tvořeného kapacitou C rozvodné sítě elektrické soustavy 10 proti zemi a zhášecí tlumivkou 9. Na pomocný signál 14 s plynule nebo diskrétně měněnou frekvencí, aplikovaný na uzel tzn., na nulový bod elektrické soustavy 10 lze pro každou úhlovou frekvenci tohoto pomocného signálu 14 vyhodnotit odezvu obvodu. Úhlová frekvence pomocného signálu 14 se mění spojitě, případně po diskrétních
20 hodnotách, přičemž frekvence pomocného signálu 14 se mění v rozsahu od 10 Hz do 250 Hz. Při použití pomocného signálu 14 ve formě injektovaného proudu dosahuje odezva elektrické soustavy 10 v podobě napětí uzlu proti zemi největší hodnoty při rezonanční frekvenci ω_{rez} odpovídající aktuálnímu naladění elektrické soustavy 10. Pokud je tato úhlová frekvence různá od základní úhlové frekvence ω_s elektrické soustavy 10, tj. $\omega_{rez} \neq \omega_s$, je rezonanční obvod pro základní úhlovou
25 frekvenci ω_s rozladěn.

Obdobně lze využít frekvenční analýzu odezvy elektrické soustavy 10 ve formě proudu do jejího nulového bodu vyvolaného pomocným signálem 14 ve formě napětí přivedeného mezi nulový bod elektrické soustavy 10 a zem. V tomto případě nabývá sledovaná veličina, kterou je proud, při
30 rezonanční úhlové frekvenci ω_{rez} svého minima.

Na obr. 1 je znázorněna křivka 1 frekvenční odezvy elektrické soustavy 10 na přiváděný pomocný proudový signál 14 s proměnnou úhlovou frekvencí. Při přivádění pomocného signálu 14 ve formě proudu s konstantní amplitudou a proměnnou úhlovou frekvencí do nulového bodu elektrické
35 soustavy 10 je sledována odezva napětí uzlu elektrické soustavy 10 proti zemnímu potenciálu pro dané úhlové frekvence. Nejvyšší amplitudy dosahuje toto napětí při přivádění proudu s úhlovou frekvencí rovnou právě rezonanční úhlové frekvenci sítě ω_{rez} při daném aktuálním naladění.

Křivka 2 na obr. 1 zobrazuje frekvenční odezvu elektrické soustavy 10 na generovaný napěťový pomocný signál 14 s proměnnou úhlovou frekvencí. Při přivádění pomocného signálu 14 ve formě
40 napětí s konstantní amplitudou a proměnnou frekvencí připojeného mezi nulový bod elektrické soustavy 10 a zem je sledována odezva ve formě proudu tekoucího do uzlu elektrické soustavy 10. Nejnižší amplitudy dosahuje tento proud při připojení napětí s úhlovou frekvencí rovnou právě rezonanční úhlové frekvenci sítě ω_{rez} při daném aktuálním naladění.

45

Je-li nalezená rezonanční úhlová frekvence ω_{rez} shodná se základní úhlovou frekvencí ω_s elektrické soustavy 10, je zhášecí tlumivka 8 vyladěna právě do rezonance s celkovou zemní kapacitou elektrické soustavy 10, tzn., elektrická soustava 10 je kompenzována pro základní úhlovou
50 frekvenci ω_s .

50

Je-li nalezená rezonanční úhlová frekvence ω_{rez} větší než základní úhlová frekvence ω_s elektrické soustavy 10, je zhášecí tlumivka 9 přeladěna tzn., elektrická soustava 10 je překompenzována. Je-li nalezená rezonanční úhlová frekvence ω_{rez} menší než základní úhlová frekvence ω_s soustavy 10, je zhášecí tlumivka 9 podladěna tzn., elektrická soustava 10 je podkompenzována. Pro vyladění
55 přeladěné zhášecí tlumivky 9 je vydán povel na zvýšení indukčnosti L zhášecí tlumivky 9, pro

vyladění podladěné zhášecí tlumivky 9 je naopak vydán povel na snížení indukčnosti L zhášecí tlumivky 9.

Pro elektrickou soustavu 10 vykompenzovanou platí $\omega_{rez} = \omega_s$.

5 Pro elektrickou soustavu 10 s přeladěnou zhášecí tlumivkou 9 platí $\omega_{rez} > \omega_s$.

Pro elektrickou soustavu 10 s podladěnou zhášecí tlumivkou 9 platí $\omega_{rez} < \omega_s$.

Druhý příklad uskutečnění způsobu automatického nastavení zhášecí tlumivky 9 pro kompenzaci elektrické soustavy 10 podle vynálezu je založen na generování pomocného signálu 14 s alespoň
10 jednou dvojicí komplementárních frekvenčních složek se stejnou amplitudou a s úhlovými frekvencemi ω_i, ω_{ii} , pro které platí, že $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$.

Pro nalezení takové polohy zhášecí tlumivky 9, kde dochází k rezonanci mezi její induktivní reaktancí a kapacitní reaktancí elektrické soustavy 10 proti zemi právě pro základní úhlovou
15 frekvenci ω_s je využito skutečnosti, že pro každou úhlovou frekvenci ω_i pomocného signálu 14 různou od základní úhlové frekvence ω_s lze určit takovou komplementární úhlovou frekvenci ω_{ii} , pro kterou nabývá rezonanční křivka shodné hodnoty právě v bodě, kde rezonanční křivka pro základní úhlovou frekvenci ω_s sítě dosahuje vrcholu. Analogicky lze sestavit rezonanční křivky proudu při využití pomocných signálů 14 v podobě napětí různých úhlových frekvencí ω_i, ω_{ii} .

20 Na obr. 2 jsou znázorněny rezonanční křivky elektrické soustavy 10 v závislosti na proměnném naladění rezonančního obvodu (proměnné indukčnosti L zhášecí tlumivky 9) pro pomocné signály 14 různé úhlové frekvence ω_i, ω_{ii} . Jedná se o rezonanční křivku 3 napětíové odezvy frekvenční složky s úhlovou frekvencí ω_i , ke které je komplementární křivka 7 pro úhlovou frekvenci ω_{ii} . Jinou komplementární dvojici představují rezonanční křivky 4, 6. Při přivádění pomocného signálu 14
25 ve formě proudů se stejně velkou amplitudou a různými úhlovými frekvencemi ω_i, ω_{ii} představuje odezva rezonančního obvodu ve formě napětí uzlu elektrické soustavy 10 o dané úhlové frekvenci rezonanční křivku s vrcholem v bodě, kdy aktuální naladěná induktivní reaktance zhášecí tlumivky 9 a kapacitní reaktance elektrické soustavy 10 proti zemi jsou pro danou úhlovou frekvenci
30 v rezonanci. Pro základní úhlovou frekvenci sítě ω_s (křivka 5) odpovídá tento bod požadované indukčnosti L zhášecí tlumivky 9 a představuje rezonanční indukčnost L_{Srez} odpovídající zemnímu kapacitnímu proudu elektrické soustavy 10 pro její základní úhlovou frekvenci ω_s . Pro vyšší úhlové frekvence se tento bod nachází vpravo od této pozice, tedy v oblasti, kde je zhášecí tlumivka 9 pro základní úhlovou frekvenci ω_s přeladěná, pro nižší úhlové frekvence se nalézá v oblasti, kde je
35 zhášecí tlumivka 9 pro základní úhlovou frekvenci ω_s podladěná.

Napětí nulové složky jako odezva soustavy 10 na přiváděný proudový pomocný signál 14 velikosti I a úhlové frekvenci ω_i resp., ω_{ii} lze vyjádřit vztahem:

40
$$\overline{U}_{0(i)} = \frac{\overline{I}_{0(i)}}{G + j\left(\omega_i C - \frac{1}{\omega_i L}\right)}, \quad \overline{U}_{0(ii)} = \frac{\overline{I}_{0(ii)}}{G + j\left(\omega_{ii} C - \frac{1}{\omega_{ii} L}\right)}$$

Vyladěného stavu rezonančního obvodu tvořeného zhášecí tlumivkou 9 s indukčností L a celkovou kapacitou C elektrické soustavy 10 proti zemi je pro základní úhlovou frekvenci sítě ω_s dosaženo
45 při splnění podmínky:

$$L_{Srez} = \frac{1}{\omega_s^2 C}$$

Z těchto podmínek platí, že velikosti odezvy elektrické soustavy 10 pro shodně velké amplitudy pomocných signálů 14 o úhlových frekvencích ω_i resp., ω_{ii} je amplituda odezvy elektrické soustavy
50 10 na tyto pomocné signály 14 shodná, právě pokud jejich úhlové frekvence splňují podmínku:

$$\omega_i \cdot \omega_{ii} = \omega_s^2 \rightarrow |\bar{U}_{0(i)}| = |\bar{U}_{0(ii)}|$$

Protože pro nalezení rezonanční indukčnosti L_{srez} zhášecí tlumivky 9 je využito úhlových frekvencí ω_i , ω_{ii} různých od základní úhlové frekvence ω_s soustavy 10, je předkládána metoda podle vynálezu odolná vůči rušícím signálům o úhlové frekvenci shodné se základní úhlovou frekvencí ω_s elektrické soustavy 10. Ladění tak není ovlivněno přirozenou nesymetrií elektrické soustavy 10 způsobující přirozenou rezonanční křivku napětí pro základní úhlovou frekvenci ω_s soustavy 10. Ladění rovněž není ovlivněno kolísáním napětí uzlu elektrické soustavy 10 o základní frekvenci vyvolaným kolísáním nesouměrné zátěže elektrické soustavy 10.

10

Ve třetím příkladu uskutečnění způsobu podle vynálezu se v podstatě kombinuje první a druhý způsob. Jako jednu úhlovou frekvenci komplementárních frekvenčních složek lze na počátku ladícího postupu s výhodou využít rezonanční úhlovou frekvenci sítě ω_{rez} zjištěnou frekvenční analýzou rezonančního obvodu podle prvního způsobu nastavení zhášecí tlumivky 9 a jako komplementární lze stanovit úhlovou frekvenci ω_K , splňující podmínku $\omega_K = \frac{\omega_s^2}{\omega_{rez}}$. Ve výhodném provedení vynálezu tak lze oba alternativní způsoby nastavení zhášecí tlumivky spojit ve vzájemné posloupnosti, přičemž je dosahováno nejlepších a nejrychlejších výsledků nastavení zhášecí tlumivky 9, jejího vyladění a provozování elektrické soustavy 10 v kompenzovaném stavu.

Po určení rezonančního naladění zhášecí tlumivky 9 pro základní úhlovou frekvenci ω_s sítě lze tuto zhášecí tlumivku 9 naladit do požadované pozice, tedy podle požadované míry rozladění celého obvodu. Velikost tohoto rozladění lze podle obecných zvyklostí určit v absolutní hodnotě jako rozdíl nastavené hodnoty proudu protékajícího zhášecí tlumivkou 9 a hodnoty tohoto proudu v bodě rezonance pro základní úhlovou frekvenci ω_s soustavy 10 nebo relativně jako poměrnou část aktuální hodnoty rezonančního proudu pro základní úhlovou frekvenci ω_s elektrické soustavy 10.

Pro každou dvojici komplementárních frekvenčních složek s úhlovými frekvencemi ω_i , ω_{ii} pomocného signálu 14 lze z hodnoty pomocného signálu 14 a ze změřené odezvy elektrické soustavy 10 vypočítat aktuální útlum G nulového systému elektrické soustavy 10, pro který platí:

$$G = Re \left\{ \frac{\bar{I}_{0(i)}}{\bar{U}_{0(i)}} \right\} = Re \left\{ \frac{\bar{I}_{0(ii)}}{\bar{U}_{0(ii)}} \right\}$$

Při využití současného měření komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu 14 a ze změřené odezvy elektrické soustavy 10 lze vypočítat i konkrétní hodnoty aktuální indukčnosti L odpovídající proudovému nastavení zhášecí tlumivky 9 případně součtu všech zhášecích tlumivek 9 zapojených aktuálně do nulových bodů dané elektrické soustavy 10 a aktuální kapacitu celé elektrické soustavy 10 vůči zemi.

Pokud imaginární složky zjištěné admitance Y_i resp., Y_{ii} pro dané úhlové frekvence ω_i resp., ω_{ii} označíme

$$B_i = Im \left\{ \frac{\bar{I}_{0(i)}}{\bar{U}_{0(i)}} \right\}$$

resp.,

$$B_{ii} = Im \left\{ \frac{\bar{I}_{0(ii)}}{\bar{U}_{0(ii)}} \right\}$$

Lze rozladění ΔB_s elektrické soustavy 10 pro základní úhlovou frekvenci ω_s vypočítat podle vztahu:

$$\Delta B_s = \frac{\omega_s}{\omega_i + \omega_{ii}} (B_i + B_{ii})$$

5 V absolutní proudové hodnotě vyjádřené v ampérech je rezonanční obvod pro základní úhlovou frekvenci ω_s při fázovém napětí elektrické soustavy 10 velikosti U_f rozladěn o:

$$\Delta I_s = U_f \cdot \Delta B_s$$

10 Indukčnost L zhášecí tlumivky 9 resp., součet indukčností všech zhášecích tlumivek 9 v uzlu elektrické soustavy 10 lze vyjádřit:

$$L = \frac{\omega_{ii} - \omega_i}{\omega_s} \cdot \frac{1}{\omega_i \Delta B_s - \omega_s B_i}$$

také

15

$$L = \frac{\omega_{ii} - \omega_i}{\omega_s} \cdot \frac{1}{\omega_s B_{ii} - \omega_{ii} \Delta B_s}$$

Kapacitu celé elektrické soustavy 10 proti zemi lze vyjádřit:

20

$$C = \frac{\omega_s}{\omega_{ii} - \omega_i} \cdot (\omega_{ii} \Delta B_s - \omega_s B_i)$$

také

$$C = \frac{\omega_s}{\omega_{ii} - \omega_i} \cdot (\omega_s B_{ii} - \omega_i \Delta B_s)$$

25

Vypočítané parametry elektrické soustavy 10 je možné zobrazit a/nebo zaznamenat.

30 Pro základní funkci určení takové pozice zhášecí tlumivky 9, kdy je rezonanční obvod vyladěn, není podle předkládaného vynálezu nutné výše uváděné výpočty využívat, z principu není pro vlastní postup ladění nutné ani měřit aktuální hodnotu pomocného signálu 14, pokud je vytvářen zařízením 13 zajišťujícím pro celý použitý frekvenční rozsah shodnou velikost tohoto pomocného signálu 14. Uvedené výpočty podle známých postupů a jejich výsledky lze využívat pro informativní zobrazování parametrů elektrické soustavy 10.

35 Na obr. 3 a obr. 4 je znázorněno schéma zařízení 13 k provádění způsobů nastavení zhášecí tlumivky 9 podle vynálezu. Do nulového bodu elektrické soustavy 10 je zapojená plynule a/nebo diskrétně laditelná zhášecí tlumivka 9, která má pomocné vinutí. Pomocný signál 14 je vytvářen v generátoru 8 pomocného signálu 14, který je tvořen frekvenčním měničem a filtrem. Generátor 8 je připojen do pomocného vinutí zhášecí tlumivky 9 a je řízen řídicí jednotkou 12 měniče.
40 Vyhodnocovací jednotka 11 sleduje odezvu elektrické soustavy 10 na pomocný signál 14, poveluje řídicí jednotku 12 generátoru 8 a pohon zhášecí tlumivky 9.

Generátor 8 je schopný zajistit generování jedné frekvenční složky a/nebo dvojic komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu 14 s proměnnou úhlovou frekvencí
45 a provádět požadované změny úhlové frekvence podle výše uvedených způsobů. Řídicí jednotka 12 generátoru 8 nastavuje nejen různé velikosti úhlové frekvence ω_i , ω_{ii} pomocného signálu 14, ale i velikosti jeho amplitud a úhly fázových posunů. Těmto požadavkům vyhovuje zařízení 13 založené na bázi frekvenčních měničů. Řízení a regulace úhlové frekvence, amplitud a úhlů fázového posuvu pomocného signálu 14 se provádí pomocí běžných softwarových a hardwarových
50 prostředků, např. pomocí řídicích systémů založených na technologii DSP mikrokontrolérů a/nebo

programovatelných logických polí FPGA, do kterých se implementuje softwarový modul 15 řízení frekvence pomocného signálu 14 a vyhodnocování odezvy elektrické soustavy 10, obsahující sled instrukcí pro provádění výše popsaných způsobů pro automatické nastavení zhášecí tlumivky 9.

- 5 Analogicky lze k připojení generátoru 8 do elektrické soustavy 10 využít např. jednofázového transformátoru zapojeného mezi nulový bod sítě a zemní potenciál, speciálního zemnicího transformátoru, Bauchova transformátoru apod.

10 Průmyslová využitelnost

Způsob a zařízení podle vynálezu lze využít pro automatické nastavení plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky v kompenzované síti elektrické soustavy pro správnou kompenzaci zemních poruchových proudů, vznikajících v důsledku zemní poruchy v rozvodné soustavě.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Způsob automatického nastavení alespoň jedné plynule a/nebo diskřetně laditelné zhašecí tlumivky (9) v kompenzované síti elektrické soustavy (10), zahrnující generování pomocného proudového nebo napětového signálu (14), přivedení tohoto pomocného signálu (14) do bodu netočivé složky elektrické soustavy (10) a sledování odezvy elektrické soustavy (10) na pomocný signál (14) a jeho změny, přičemž pomocný signál (14) vykazuje alespoň jednu frekvenční složku, **vyznačující se tím, že:**

a) se plynule nebo diskřetně mění úhlová frekvence frekvenční složky pomocného signálu (14),

b) se následně provádí frekvenční analýza rezonančního obvodu, který je tvořen indukčností (L) zhašecí tlumivky (9) a kapacitou (C) elektrické soustavy (10), přičemž se určí rezonanční úhlová frekvence ω_{rez} , pro kterou je dosaženo největší odezvy elektrické soustavy (10), tedy největší efektivní nebo maximální hodnoty měřeného napětí $u_0(\omega)$ a/nebo nejmenší efektivní nebo maximální hodnoty měřeného proudu $i_0(\omega)$,

c) hodnota rezonanční úhlové frekvence ω_{rez} , se porovná se základní úhlovou frekvencí ω_s elektrické soustavy (10),

d) je-li hodnota $\omega_{rez} < \omega_s$, je zhašecí tlumivka (9) podladěná a soustava (10) je podkompenzována, provádí se snížení indukčnosti zhašecí tlumivky (9), přičemž se opakují kroky a) až c) tak dlouho, až je dosaženo kompenzace elektrické soustavy (10) s požadovanou přesností,

e) je-li hodnota $\omega_{rez} > \omega_s$, je zhašecí tlumivka (9) přeladěná a elektrická soustava (10) je překompenzována, provádí se zvýšení indukčnosti zhašecí tlumivky (9), přičemž se opakují kroky a) až c) tak dlouho, až je dosaženo kompenzace elektrické soustavy (10) s požadovanou přesností,

f) je-li hodnota $\omega_{rez} = \omega_s$ je zhašecí tlumivka (9) vyladěná a elektrická soustava (10) je vykompenzována.

2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že změna frekvence frekvenční složky pomocného signálu (14) se provádí v rozsahu od 10 do 250 Hz.

3. Způsob podle nároku 1 nebo 2, **vyznačující se tím**, že se na základě zjištěné hodnoty rezonanční úhlové frekvence ω_{rez} stanoví kapacita (C) elektrické soustavy (10) proti zemi na základě vztahu $C = \frac{1}{\omega_{rez}^2 * L}$, kde L je indukčnost zhašecí tlumivky (9) nebo výsledná indukčnost všech zhašecích tlumivek (9) v elektrické soustavě (10).

4. Způsob automatického nastavení alespoň jedné plynule a/nebo diskřetně laditelné zhašecí tlumivky (9) v kompenzované síti elektrické soustavy (10), zahrnující generování pomocného proudového nebo napětového signálu (14), přivedení tohoto pomocného signálu (14) do bodu netočivé složky elektrické soustavy (10) a sledování odezvy elektrické soustavy (10) na přivedený pomocný signál (14) a jeho změny, přičemž pomocný signál (14) se generuje s alespoň jednou dvojicí frekvenčních složek, **vyznačující se tím, že**

a) frekvenční složky každé dvojice jsou komplementární, mají stejnou amplitudu, a pro jejich úhlové frekvence (ω_i, ω_{ii}) platí vztah, $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$, kde ω_s je základní úhlová frekvence elektrické soustavy (10), kde první frekvenční složka má úhlovou frekvenci $\omega_i \neq \omega_s$, a kde druhá frekvenční složka má úhlovou frekvenci (ω_{ii}) ležící pod nebo nad hodnotou (ω_s) podle výše popsaného vztahu,

b) měří se odezva elektrické soustavy (10) na přivádění pomocného signálu (14) s dvojicí

frekvenčních složek s úhlovými frekvencemi (ω_i, ω_{ii}), přičemž se porovnávají odezvy elektrické soustavy (10) pro obě frekvenční složky, tedy naměřené efektivní a/nebo maximální hodnoty napětí $u_0(\omega_i)$ a $u_0(\omega_{ii})$ a/nebo proudů $i_0(\omega_i)$ a $i_0(\omega_{ii})$,

- 5 c) na základě rozdílu naměřených hodnot $u_0(\omega_i)$ a $u_0(\omega_{ii})$ a/nebo $i_0(\omega_i)$ a $i_0(\omega_{ii})$ se provádí změna indukčnosti zhašecí tlumivky (9) tak, že při $\omega_i < \omega_{ii}$,

d) je-li hodnota $|u_0(\omega_i)| < |u_0(\omega_{ii})|$, a/nebo je-li hodnota $|i_0(\omega_i)| > |i_0(\omega_{ii})|$, je zhašecí tlumivka (9) podladěná a elektrická soustava (10) je podkompenzovaná, provádí se snížení indukčnosti zhašecí tlumivky (9),

e) je-li hodnota $|u_0(\omega_i)| > |u_0(\omega_{ii})|$, a/nebo je-li hodnota $|i_0(\omega_i)| < |i_0(\omega_{ii})|$, je zhašecí tlumivka (9) přeladěná a elektrická soustava (10) je překompenzovaná, provádí se zvýšení indukčnosti zhašecí tlumivky (9),

15 f) kroky b) až e) se opakují tak dlouho, až je dosaženo takového vyladění zhašecí tlumivky (9) a kompenzace elektrické soustavy (10) tj. takové hodnoty indukčnosti zhašecí tlumivky (9), při které pro velikosti efektivních a/nebo maximálních hodnot měřené odezvy elektrické soustavy platí $|u_0(\omega_i)| \doteq |u_0(\omega_{ii})|$ a/nebo $|i_0(\omega_i)| \doteq |i_0(\omega_{ii})|$ s požadovanou přesností.

20 5. Způsob podle nároku 4, **vyznačující se tím**, že po provedení kroků a) a b) se naměřené hodnoty $u_0(\omega_i)$ a $u_0(\omega_{ii})$ a/nebo $i_0(\omega_i)$ a $i_0(\omega_{ii})$ porovnají s předem definovanými limitními hodnotami určenými požadavky přesnosti měření a požadavkem na omezení napětí netočivé složky, a v případě, že naměřené hodnoty odezvy elektrické soustavy (10) $u_0(\omega_i)$ a $u_0(\omega_{ii})$ a/nebo $i_0(\omega_i)$ a $i_0(\omega_{ii})$ leží mimo interval vymezený limitními hodnotami, provádí se plynulá nebo diskretní změna úhlových frekvencí (ω_i, ω_{ii}) frekvenčních složek pomocného signálu (14), při zachování vztahu $\omega_i = \frac{\omega_{\Sigma}^2}{\omega_{ii}}$, a měří se znovu odezva elektrické soustavy (10), dokud naměřené hodnoty $u_0(\omega_i)$ a $u_0(\omega_{ii})$ a/nebo $i_0(\omega_i)$ a $i_0(\omega_{ii})$ neleží v intervalu vymezeném limitními hodnotami, a dále se provádí kroky c) až f) dle nároku 4.

30 6. Způsob podle nároku 4 nebo 5, **vyznačující se tím**, že úhlová frekvence (ω_i) první komplementární frekvenční složky se v kroku a) určí jako hodnota $\omega_i = \omega_{\text{rez}}$, kde hodnota ω_{rez} se stanoví tak, že se plynule nebo diskretně mění úhlové frekvence pomocného signálu (14), a následně se provádí frekvenční analýza rezonančního obvodu, který je tvořen indukčností (L) zhašecí tlumivky (9) a kapacitou (C) elektrické soustavy (10), přičemž se určí rezonanční úhlová frekvence ω_{rez} , pro kterou je dosaženo největší efektivní nebo maximální hodnoty měřeného napětí $u_0(\omega)$ a/nebo nejmenší efektivní nebo maximální hodnoty měřeného proudu $i_0(\omega)$.

40 7. Způsob podle některého z nároků 4 až 6, **vyznačující se tím**, že pro každou dvojici komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu (14) se z hodnoty pomocného signálu (14) a ze změřené odezvy elektrické soustavy (10) stanoví aktuální útlum (G) nulového systému elektrické soustavy (10), podle vztahu:

$$G = \operatorname{Re} \left\{ \frac{\bar{I}_{0(i)}}{\bar{U}_{0(i)}} \right\} = \operatorname{Re} \left\{ \frac{\bar{I}_{0(ii)}}{\bar{U}_{0(ii)}} \right\}$$

45 dále se stanoví hodnota aktuálního rozladění (ΔB_s) zhašecí tlumivky (9) případně všech zhašecích tlumivek (9) zapojených do nulových bodů elektrické soustavy (10), přičemž se stanoví imaginární složky zjištěných admitancí pro úhlové frekvence (ω_i, ω_{ii}) komplementárních složek:

$$50 \quad B_i = \operatorname{Im} \left\{ \frac{\bar{I}_{0(i)}}{\bar{U}_{0(i)}} \right\}$$

$$B_{ii} = \operatorname{Im} \left\{ \frac{\bar{I}_{0(ii)}}{\bar{U}_{0(ii)}} \right\}$$

5 a následně se stanoví rozladění ΔB_s elektrické soustavy (10) pro základní úhlovou frekvenci ω_s podle vztahu:

$$\Delta B_s = \frac{\omega_s}{\omega_i + \omega_{ii}} (B_i + B_{ii})$$

10 8. Způsob podle nároku 7, **vyznačující se tím**, že následně se stanoví aktuální indukčnost (L) zhášecí tlumivky (9), resp. součet aktuálních indukčností (L) všech zhášecích tlumivek (9) v uzlu elektrické soustavy (10) podle vztahu:

$$L = \frac{\omega_{ii} - \omega_i}{\omega_s} \cdot \frac{1}{\omega_i \Delta B_s - \omega_s B_i}$$

15 nebo

$$L = \frac{\omega_{ii} - \omega_i}{\omega_s} \cdot \frac{1}{\omega_s B_{ii} - \omega_{ii} \Delta B_s}$$

20 a stanoví se kapacita (C) celé elektrické soustavy (10) proti zemi podle vztahu:

$$C = \frac{\omega_s}{\omega_{ii} - \omega_i} \cdot (\omega_{ii} \Delta B_s - \omega_s B_i)$$

nebo

25

$$C = \frac{\omega_s}{\omega_{ii} - \omega_i} \cdot (\omega_s B_{ii} - \omega_{ii} \Delta B_s)$$

30 9. Způsob podle některého z nároků 1 až 8, **vyznačující se tím**, že se současně ladí alespoň dvě zhášecí tlumivky (9) v téže kompenzované síti elektrické soustavy (10).

10. Způsob podle některého z nároků 1 až 9, **vyznačující se tím**, že se ladí alespoň jedna zhášecí tlumivka (9) při zemním spojení v době trvající zemní poruchy v síti elektrické soustavy (10).

35 11. Zařízení (13) pro automatické nastavení alespoň jedné plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky (9) v kompenzované síti elektrické soustavy (10) prostřednictvím přivedení pomocného proudového nebo napětového signálu (14) do bodu netočivé složky elektrické soustavy (10) z generátoru (8) pomocného signálu řízeného řídicí jednotkou (12) a prostřednictvím sledování odezvy elektrické soustavy na přivedený pomocný signál (14) a jeho změny pomocí
40 vyhodnocovací jednotky (11) povelující řídicí jednotku (12), přičemž pomocný signál (14) vykazuje alespoň jednu frekvenční složku, **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací jednotka (11), řídicí jednotka (12) a generátor (8) pomocného signálu (14) jsou upraveny pro generování pomocného signálu (14) s možností plynulé nebo diskrétní změny úhlové frekvence, amplitudy a úhlu fázového posunu, a zařízení (13) je opatřeno hardwarovými a softwarovými prostředky pro
45 provádění automatického nastavení zhášecí tlumivky (9) způsobem podle některého z nároků 1 až 3, 9, 10.

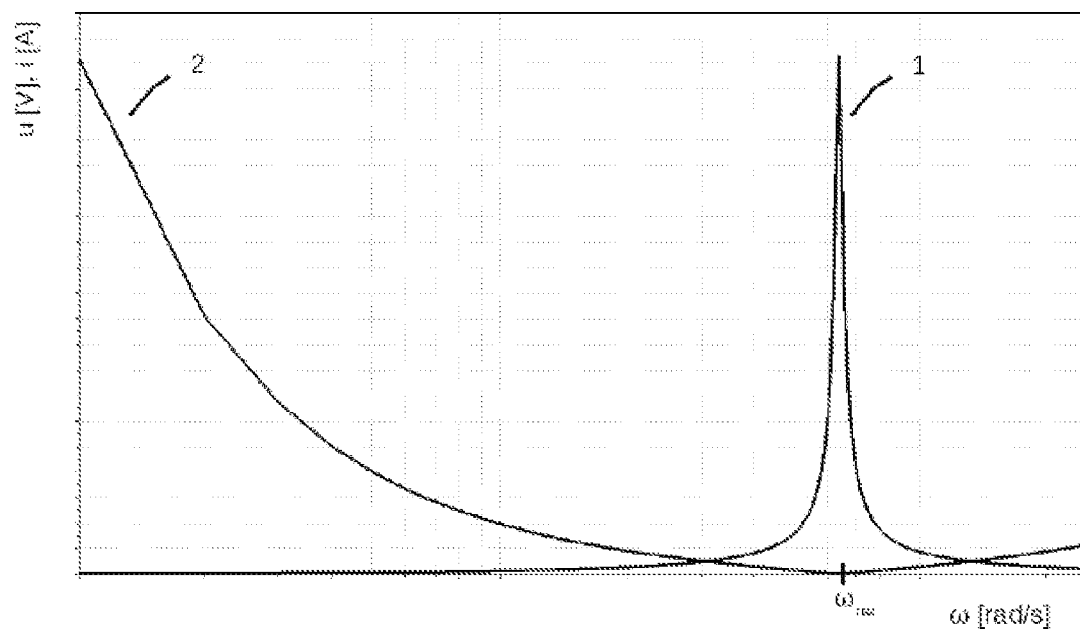
12. Zařízení (13) pro automatické nastavení alespoň jedné plynule a/nebo diskřetně laditelné zhášecí tlumivky (9) v kompenzované síti elektrické soustavy (10) prostřednictvím přivedení pomocného proudového nebo napětového signálu (14) do bodu netočivé složky elektrické soustavy (10) z generátoru (8) pomocného signálu (14) řízeného řídicí jednotkou (12) a prostřednictvím sledování odezvy elektrické soustavy na přivedený pomocný signál (14) a jeho změny pomocí vyhodnocovací jednotky (11) povolující řídicí jednotku (12), přičemž pomocný signál (14) vykazuje více než jednu frekvenční složku, **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací jednotka (11), řídicí jednotka (12) a generátor (8) pomocného signálu (14) jsou upraveny pro generování pomocného signálu (14) obsahujícího alespoň jednu dvojici komplementárních frekvenčních složek se stejnou amplitudou a s úhlovými frekvencemi (ω_i , ω_{ii}), pro které platí vztah $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$, kde ω_s je základní úhlová frekvence soustavy (10), přičemž $\omega_i \neq \omega_s$ a zařízení (13) je opatřeno hardwarovými a softwarovými prostředky pro provádění automatického nastavení zhášecí tlumivky (9) způsobem podle některého z nároků 4 až 10.
13. Zařízení podle nároku 12, **vyznačující se tím**, že vyhodnocovací jednotka (11), řídicí jednotka (12) a generátor (8) pomocného signálu (14) jsou upraveny pro plynulou nebo diskřetní změnu úhlových frekvencí (ω_i , ω_{ii}) dvojice komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu (14), jejich amplitud a úhlů fázového posunu.
14. Zařízení podle nároku 11 nebo 12, **vyznačující se tím**, že obsahuje softwarový modul (15) řízení úhlové frekvence pomocného signálu (14) pro plynulou nebo diskřetní změnu úhlové frekvence pomocného signálu (14) a/nebo pro generování alespoň jedné dvojice komplementárních frekvenčních složek s úhlovými frekvencemi (ω_i , ω_{ii}) podle vztahu $\omega_i = \frac{\omega_s^2}{\omega_{ii}}$, kde ω_s je základní úhlová frekvence soustavy (10).
15. Zařízení podle nároku 14, **vyznačující se tím**, že softwarový modul (15) řízení frekvence pomocného signálu (14) je upraven pro plynulou nebo diskřetní změnu úhlových frekvencí (ω_i , ω_{ii}) dvojice komplementárních frekvenčních složek pomocného signálu (14), jejich amplitud a úhlů fázového posunu.
16. Zařízení podle nároku 14 nebo 15, **vyznačující se tím**, že softwarový modul (15) řízení frekvence pomocného signálu (14) a vyhodnocováním odezvy elektrické soustavy (10) je součástí vyhodnocovací jednotky (11) a/nebo řídicí jednotky (12).
17. Zařízení podle některého z nároků 11 až 16, **vyznačující se tím**, že generátor (8) pomocného signálu (14) je tvořen frekvenčním měničem.
18. Zařízení podle některého z nároků 11 až 17, **vyznačující se tím**, že generátor (8) pomocného signálu (14) je připojen do alespoň jednoho bodu netočivé složky elektrické soustavy (10) prostřednictvím alespoň jednoho zařízení ze skupiny: jednofázový transformátor, zhášecí tlumivka (9), zemní transformátor, Bauchův transformátor.
19. Program vyhodnocovací jednotky (11) a/nebo řídicí jednotky (12) generátoru (8) pomocného signálu (14) v zařízení (13) podle některého z nároků 11, 14 až 18, pro automatické nastavení plynule a/nebo diskřetně laditelné zhášecí tlumivky (9) v kompenzované síti elektrické soustavy (10), **vyznačující se tím**, že zahrnuje instrukce pro provádění způsobu automatického nastavení zhášecí tlumivky (9) podle některého z nároků 1 až 3, 9, 10.

20. Program vyhodnocovací jednotky (11) a/nebo řídicí jednotky (12) generátoru (8) pomocného signálu (14) v zařízení (13) podle některého z nároků 12 až 18, pro automatické nastavení plynule a/nebo diskrétně laditelné zhášecí tlumivky (9) v kompenzované síti elektrické soustavy (10),
 5 **vyznačující se tím, že zahrnuje instrukce pro provádění způsobu automatického nastavení zhášecí tlumivky (9) podle některého z nároků 4 až 10.**

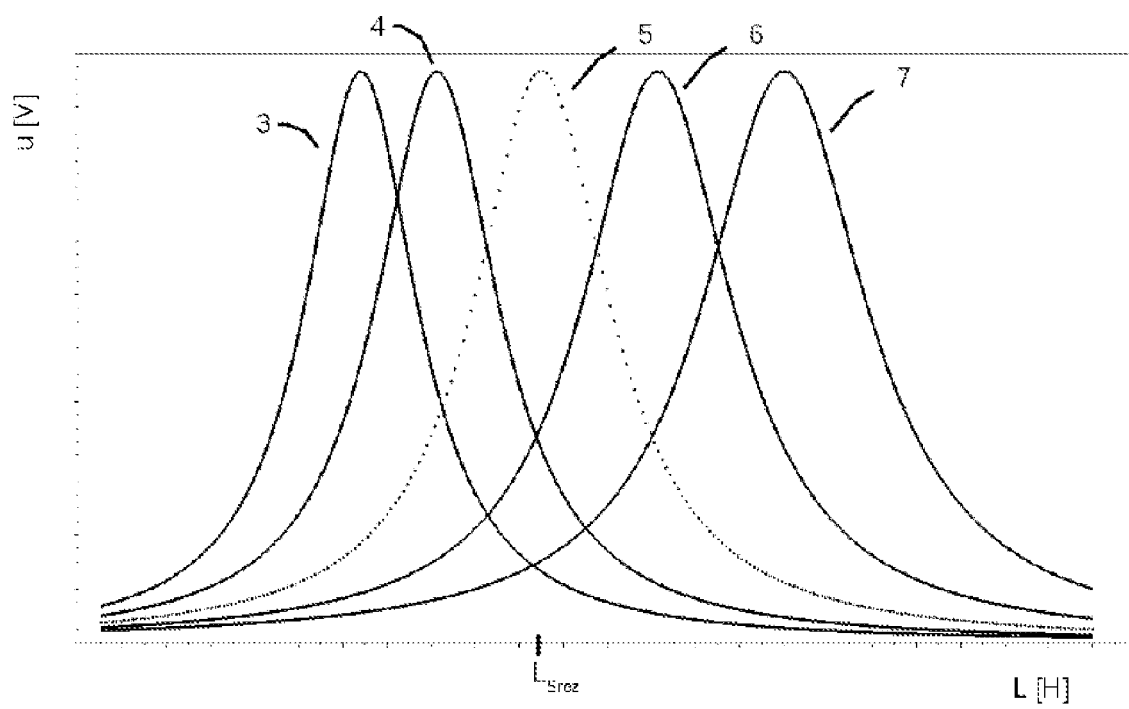
4 výkresy

Seznam vztahových značek

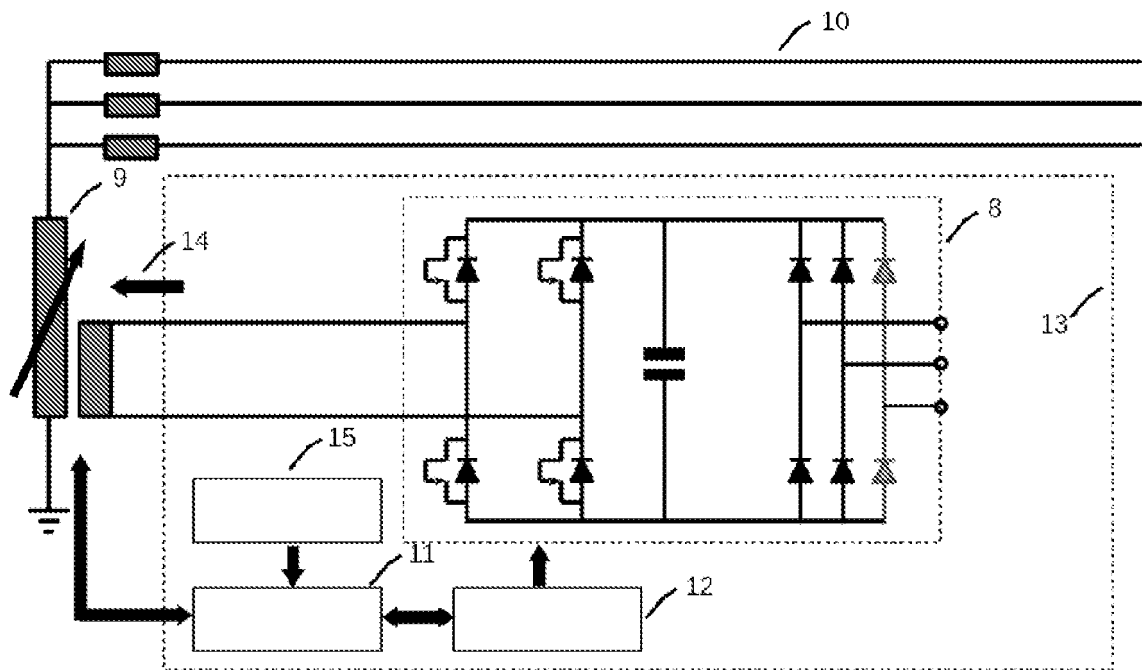
- | | |
|----|--|
| 1 | křivka frekvenční odezvy elektrické soustavy na generovaný proudový signál s proměnnou frekvencí |
| 2 | křivka frekvenční odezvy elektrické soustavy na generovaný napěťový signál s proměnnou frekvencí |
| 3 | rezonanční křivka napěťové odezvy frekvenční složky s úhlovou frekvencí ω_i komplementární k rezonanční křivce 7 |
| 4 | rezonanční křivka napěťové odezvy frekvenční složky s úhlovou frekvencí ω_i komplementární k rezonanční křivce 6 |
| 5 | rezonanční křivka napěťové odezvy pro základní úhlovou frekvenci ω_s |
| 6 | rezonanční křivka napěťové odezvy frekvenční složky s úhlovou frekvencí ω_{ii} komplementární k rezonanční křivce 4 |
| 7 | rezonanční křivka napěťové odezvy frekvenční složky s úhlovou frekvencí ω_{ii} komplementární k rezonanční křivce 3 |
| 8 | generátor pomocného signálu |
| 9 | zhášecí tlumivka |
| 10 | elektrická soustava |
| 11 | vyhodnocovací jednotka |
| 12 | řídicí jednotka |
| 13 | zařízení pro automatické nastavení zhášecí tlumivky |
| 14 | pomocný signál |
| 15 | modul řízení frekvence pomocného signálu a vyhodnocování odezvy elektrické soustavy |
-
- | | |
|------------------------------------|--|
| C | celková kapacita soustavy proti zemi |
| G | útlum nulového systému elektrické soustavy tj. celková činná složka admitance nulového systému elektrické soustavy |
| $i_0(\omega), u_0(\omega)$ | proud a napětí netočivé složky jako funkce úhlové frekvence ω |
| $\bar{I}_{0(i)}, \bar{U}_{0(i)}$ | fázor proudu a napětí netočivé složky s úhlovou frekvencí ω_i |
| $\bar{I}_{0(ii)}, \bar{U}_{0(ii)}$ | fázor proudu a napětí netočivé složky s úhlovou frekvencí ω_{ii} |
| L | indukčnost zhášecí tlumivky |
| L_{Srez} | rezonanční indukčnost zhášecí tlumivky při základní úhlové frekvenci ω_s |
| B_i | susceptance soustavy při úhlové frekvenci ω_i |
| B_{ii} | susceptance soustavy při úhlové frekvenci ω_{ii} |
| Y_i | admitance soustavy při úhlové frekvenci ω_i |
| Y_{ii} | admitance soustavy při úhlové frekvenci ω_{ii} |
| ΔB_s | rozladění soustavy pro základní úhlové frekvenci ω_s |
| ω, Ω | úhlová frekvence |
| ω_i | úhlová frekvence různá od základní úhlové frekvence ω_s soustavy |
| ω_{ii} | komplementární úhlová frekvence k úhlové frekvenci ω_i |
| ω_K | komplementární úhlová frekvence |
| ω_{rez} | rezonanční úhlová frekvence |
| ω_s | základní úhlová frekvence soustavy |



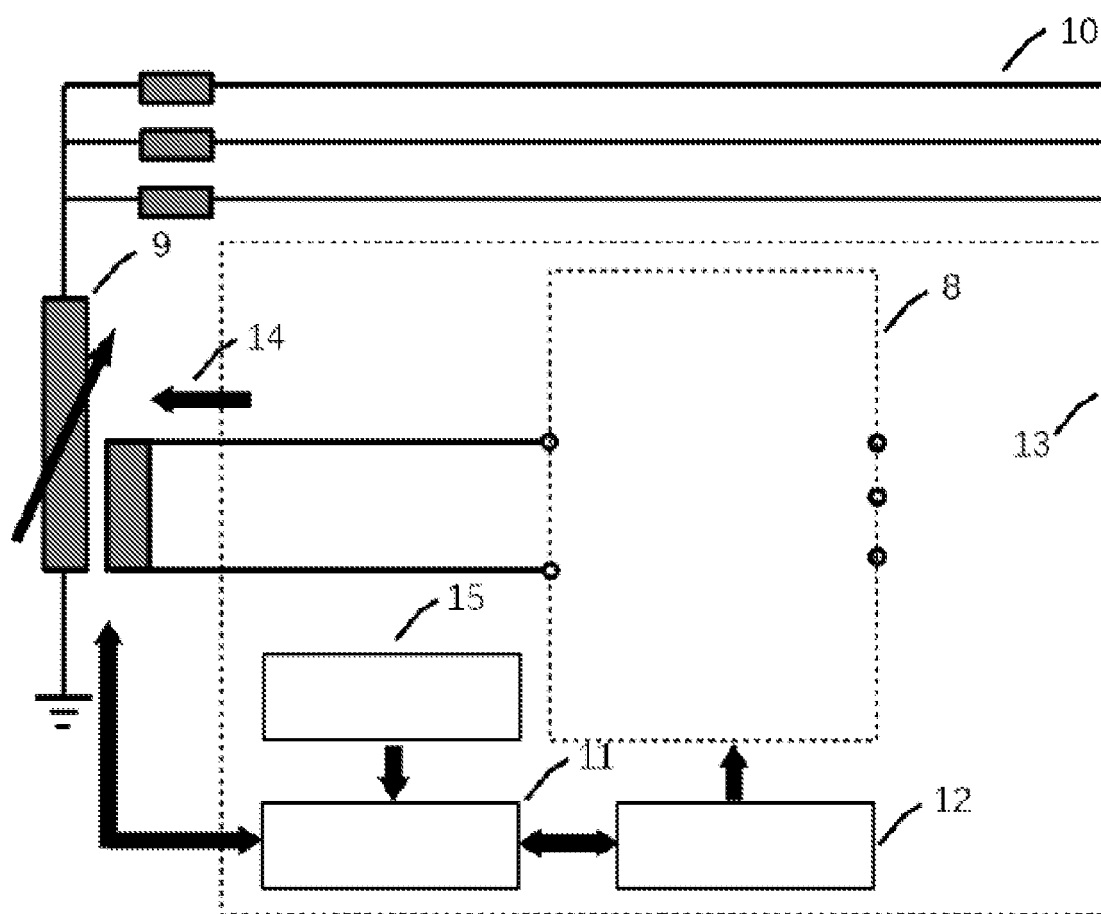
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4