



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY  
A OBJEVY

# POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

216177  
(11) (B2)

- (22) Přihlášeno 30 11 77  
(21) (PV 7912-77)  
(32) (31) (33) Právo přednosti od 03 12 76  
(BU-826) Maďarská lidová republika  
(40) Zveřejněno 30 11 81  
(45) Vydáno 15 10 84

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 01 R 19/10  
H 02 H 3/08

(72) Autor vynálezu ULBRICH GYULA ing., KRASZNAI ENDRE ing. a HÖMÖSTREI ISTVÁN, BUDAPEŠT (MLR)

(73) Majitel patentu BUDAPESTI RÁDIÓTECHNIKAI GYÁR, BUDAPEŠT (MLR)

## (54) Zapojení ke kontrole součtu intenzit proudů

1

Vynález se týká zapojení ke kontrole součtu intenzit proudů alespoň ve dvou větvích elektrické sítě obsahující sčítací obvody a operační zesilovač a v jednotlivých větvích je uspořádán měnič proudu na napětí.

Důležitá oblast použití tohoto zapojení je při realizaci nadproudové ochrany stejnosměrných napájecích jednotek. Další možností použití je funkce proudového omezení vztažená na maximální proud střídavé sítě.

Elektronická nadproudová ochrana je u moderních stejnosměrných napájecích jednotek obecně rozšířena. Nalézáme ji u napájecích jednotek pro rozdílné požadavky a také u monolitických integrovaných stabilizátorů jsou zabudovány pomocné obvody nadproudové ochrany. Co do principu jsou různá řešení stejná; na odporu zapojeném v sérii se zátěží vzniká úbytek napětí úměrný zatěžovacímu proudu. Toto napětí se dostává na vstup kontrolního obvodu a výstup obvodu provede v kontrolované síti zákrok, většinou prostřednictvím výkonového tranzistoru, v důsledku čehož zatěžovací proud nemůže překročit maximální hodnotu.

U dosavadního omezování proudu přeměňuje se výstup napájecí části v generátor proudu; v důsledku vzrůstu zatížení poklesne výstupní napětí. Největší nevýhoda tohoto řešení spočívá v tom, že při přetížení

2

může rozptýl propouštějícího stupně činit několikanásobek nepříznivého provozního stavu. Takové předimenzování bylo by však i při středních výkonech zásadně nevhodné.

Místo uvedeného řešení je schůdnější omezení proudu s využitím charakteristiky typu foldback, to jest voltampérové charakteristiky zpět ohnuté. Toto uspořádání má ve srovnání s prvním řešením dvě výhody: nahradí-li se členy nízkoproudového děliče částečně potenciometry, dá se hodnota maximálního proudu nastavit jednoduchým způsobem; na druhé straně lze vhodnou volbou členů dosáhnout toho, že rozptýl výkonového stupně nepřekročí maximální provozní hodnotu ani při zkratu. Nevýhodou tohoto řešení je, že napětí vytvářené na sériovém odporu se rovná nejméně trojnásobku napětí otevření tranzistoru, tedy rovná se 1,8 až 2,4 V. U napájecí jednotky 5 V, 10 A, uvedené jako příklad, dochází na kontrolním odporu ke ztrátovému výkonu 18 až 24 W; to znamená při užitečném výkonu 50 W, že v důsledku elektronického omezování proudu se účinnost podstatně zhoršuje.

Z tohoto důvodu se u napájecích jednotek s vyšším výkonem činí kompromis. Podle jedné možnosti se za kontrolované napětí

nepokládá jen napětí objevující se na sériovém odporu, ale toto se zvyšuje napětím mezi bází a emitorem výkonového tranzistoru. Tímto zásahem do obvodu může být u účinnosti skutečně dosaženo zlepšení, ale jen na úkor přesnosti. Neboť tím, že nyní je úměrným k zatěžovacímu proudu již jen díl kontrolovaného napětí, klesá strmost změny napětí a tím také její zjistitelnost. Stav se zhoršuje i tím, že hranice uvedení v činnost je závislá na teplotní citlivosti přechodu báze — emitor, to jest hodnota maximálního proudu je značně závislá na teplotě.

U modifikovaného řešení, u něhož celý zatěžovací proud je dodáván více paralelně zapojenými výkonovými stupni, funguje kontrola proudu jen u jednoho stupně, což se opírá o to, že přetížení nebo zkrat se vyskytují na všech stupních. V daném případě vzniká nejistota odchylkami proudového zesílení výstupních výkonových tranzistorů a proudovou a teplotní závislostí proudových zesilovacích činitelů. Mimoto existuje nebezpečí, že příkladný zvolený stupeň se poškodí, a že druhé stupně převezmou zatížení i tohoto stupně, ale již bez proudové kontroly.

Jako základ pro srovnání se položí spotřebič 5 V, 10 A. Při čistém omezování proudu s využitím zpět ohnuté voltampérové charakteristiky činí přitom ztrátový výkon při provozu 18 až 24 W. Tato hodnota se rovná 36 až 48 % výstupního užitečného výkonu. Zvolíme-li modifikované řešení s využitím zpět ohnuté voltampérové charakteristiky, pak činí napěťový úbytek na sériovém odporu asi 0,8 až 1,2 V. V provozu to znamená ztrátu na výkonu 8 až 12 W, to je 16 až 24 % plného výkonu. Nevýhodou přitom je, že hodnota odděleného proudu může být udána jen s tolerančním polem 15 až 20 % v obvyklém rozsahu provozních teplot, a to znamená, že uvažovaný výkon musí být zvýšen v tomto měřítku.

Podle dalšího známého řešení se stane vlivem přetížení vodivým tyristor a anodový proud přemosťuje proud báze výkonového tranzistoru. Toto řešení má vůči dřívějším uspořádáním tu výhodu, že napětí a proud výstupu se vlivem přetížení snižuje až na nulu. Za předpokladu, že je zajištěna určitá nastavitelnost, nutno na sériovém odporu volit úbytek napětí 0,8 V; příkon přitom činí 8 W při proudu 10 A. To znamená při výstupním napětí 5 V 16 % užitečného výkonu. Další nevýhoda vyplývá z toho, že proudový zesilovací činitel tranzistoru, popřípadě zapalovací proud tyristoru, je závislý na aktuálním řízení parametrů tyristoru a tranzistoru a na teplotě přechodů PN uvedených polovodičů, čímž očekávaná hodnota odděleného proudu vykazuje tak veliký rozptyl, jak při omezování proudu s využitím zpět ohnuté voltampérové charakteristiky. Uzavření tyristoru, tedy zpětné nastavení obvodu do základního stavu, může být vy-

voláno také vypadnutím sítě; tímto způsobem uvede se napájecí jednotka při opětném oživení sítě opět do provozu. U části případů tedy zjištění a potvrzení užitečného a vadného stavu tento systém neumožňuje. Pro zamezení neočekávaného opětného zapojení je známo zapojení, u něhož tyristor skutečným úmyslným zkratem na nestabilizované straně, který působí k tomu, že se tam umístěná tavná pojistka přepálí. Mimo to, že toto řešení odmítá výhody elektronického zásahu, je také podstatně dražší a nepohodlnější než jiné způsoby omezení proudu. Současné elektronické, na prvním místě výpočetně-technické jednotky, vyžadují pro udržování v provozu stále vyšší výkony a musí být schopny pracovat v širokých teplotních rozsazích. Při provozu ukazuje se stále více hospodárnějším společné napájení více spolupůsobících dílčích jednotek umístěných v téže montážní skupině. Příkon takových systémů činí nezdědká řádově několik kW a potřebný teplotní rozsah 50 až 70 °C. Za takových podmínek může mít význam i úspora 10 % u pomocných zařízení napájecí jednotky. U střídavých sítí rozšířily se v první řadě řešení nadproudové ochrany spočívající na magnetickém působení. U některých aplikací by byla ospravedlněna i zcela krátkodobá nadproudová ochrana spotřebiče napájeného proudem měničím se periodicky v čase. Tato úloha by vůbec nemohla být vyřešena známými elektronickými přístroji nadproudové ochrany nebo jen s nepatrným úspěchem.

Cílem vynálezu je vytvořit zapojení pro kontrolu proudu, vyžadující nepatrný příkon a zajišťující přitom přesnou nastavitelnost maximální hodnoty proudu a časovou stabilitu proudu ve velké míře, nezavisle na provozních poměrech, a které by mohlo být použito v širokém rozsahu hodnot výstupního napětí a výstupního proudu.

Podle dalšího cíle vynálezu má se zapojení hodit k současné kontrole součtu proudů více nezávislých větví a jeho použití ve střídavém obvodu nemá narážet na potíže ani tehdy, když by se u nich fázový úhel napětí a proudu podstatně lišil.

Uvedených cílů je dosaženo a uvedené nevýhody jsou odstraněny u zapojení ke kontrole součtu intenzit proudů podle vynálezu, jehož podstata spočívá v tom, že první vstupy měničů proudu na napětí jsou vzájemně odděleně připojeny ke vstupům prvního sčítacího obvodu a druhé vstupy měničů proudu na napětí jsou vzájemně odděleně připojeny ke vstupům druhého sčítacího obvodu, výstupy prvního sčítacího obvodu a druhého sčítacího obvodu jsou připojeny jednotlivě vždy k jednomu vstupu rozdílového obvodu a výstup rozdílového obvodu je spojen se vstupem klopného obvodu, tvořeného zesilovačem obsahujícím hysteretzní prvek, přičemž výstup klopného obvodu je připojen na vstup spínacího obvodu.

Navrženým řešením se značně sníží ztráto-

vý výkon potřebný pro kontrolu proudu, což má za následek zlepšení účinnosti. Dále teplotní závislost maximálního proudu je nízká, přičemž hodnota maximálního proudu je plynule měnitelná. V případě přetížení sníží se na nulu jak výstupní napětí, tak také výstupní proud nezávisle na velikosti přetížení. Nadto stává možnost současné kontroly proudových hodnot více proudových zdrojů s výstupními napětími na sobě nezávislými.

Příklady provedení zapojení podle vynálezu jsou zobrazeny na výkresech, na nichž na obr. 1 je znázorněna první varianta zapojení, na obr. 2 je znázorněna druhá varianta zapojení podle vynálezu, na obr. 3 jsou znázorněny fázové vektory u zapojení podle obr. 2 a na obr. 4 je obecné blokové schéma zapojení podle vynálezu.

Provedení znázorněné na obr. 1 slouží ke kontrole proudu stejnosměrné sítě, u níž teče proud tří větví do uzlu, a přičemž byla možnost umístit sériové odpory v těchto třech větvích. Bylo by možné, aby proudy tří větví byly nestejně. Je nutno se snažit, aby součet proudů, to jest proud tekoucí ke spotřebiči, nepřekročil danou mez.

Podle obr. 1 je vstup  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  spojen s uzlem prvního, druhého a třetího měniče  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  proudu na napětí, tvořených odpory, které jsou uspořádány každý v jedné větvi stejnosměrné elektrické sítě, a dále přes pátý odpor  $R_5$  s invertujícím vstupem  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$ . Neinvertující vstup  $S_2$  operačního zesilovače  $IC1$  je spojen s prvním, druhým a třetím odporem  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ , jejichž druhé konce tvoří vstupy  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$ , které jsou jednotlivě připojeny k nespojeným koncům prvního, druhého a třetího měniče  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  proudu na napětí. Neinvertující vstup  $S_2$  operačního zesilovače  $IC1$  je ukostřen přes druhý kondenzátor  $C_2$ , který je přemostěn čtvrtým odporem  $R_4$ . Invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$  je ukostřen přes první kondenzátor  $C_1$ , který přemostuje šestý odpor  $R_6$ . Invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$  je přes sériový obvod sedmého odporu  $R_7$  a první diody  $D_1$  spojen se vstupem  $R$  signálu představujícího do základní polohy. Invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$  je spojen přes osmý odpor  $R_8$  s jezdcem potenciometru  $P_1$ , který je přes dvanáctý odpor  $R_{12}$  spojen se vstupem kladného stejnosměrného napětí  $U_T$ . Se zdrojem stejnosměrného napětí  $U_T$  je spojen operační zesilovač  $IC1$  i přímo. Výstup operačního zesilovače  $IC1$  je spojen s neinvertujícím vstupem  $S_2$  zesilovače  $IC1$  zpětnovazební smyčkou tvořenou desátým odporem  $R_{10}$  a devátým odporem  $R_9$  zapojeným v sérii, přičemž společný bod devátého a desátého odporu  $R_9$ ,  $R_{10}$  je spojen s kostrou přes sériový obvod tvořený jedenáctým odporem  $R_{11}$  a druhou diodou  $D_2$ . Výstup operačního zesilovače  $IC1$  je přes sériový obvod tvořený čtrnáctým odporem

$R_{14}$  a třetí diodou  $D_3$  spojen sází tranzistoru  $T_1$ , která je pomocí patnáctého odporu  $R_{15}$  spojena s kostrou. Kolektor tranzistoru  $T_1$  tvoří výstup  $K$  spínacího obvodu  $J$ . Emitor tranzistoru  $T_1$  je ukostřen.

Zapojení podle obr. 2 je totožné se zapojením podle obr. 1 s tím rozdílem, že je napojeno jen na jednu větev střídavé elektrické sítě, v níž je umístěn měnič  $F$  proudu na napětí reaktivního charakteru, mající indukčnost  $FL$  a ztrátový odpor  $FR$ . Proto se v tomto zapojení druhý a třetí odpor  $R_2$ ,  $R_3$  nevyskytují.

Mezi prvním výstupem  $X_1$  měniče  $F$  proudu na napětí a vstupem  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  je zapojena sedmá dioda  $D_7$  polarizovaná v nepropustném směru a mezi prvním výstupem  $X_1$  měniče  $F$  proudu na napětí a vstupem  $B_1$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  je zapojena pátá dioda  $D_5$  polarizovaná v propustném směru. Mezi druhým výstupem  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí a vstupem  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  je zapojena šestá dioda  $D_6$  polarizovaná v propustném směru a mezi druhým výstupem  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí a vstupem  $B_1$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  je zapojena čtvrtá dioda  $D_4$ .

Blokové schéma na obr. 4 ukazuje přepínač  $P$  polarity vložený mezi první a druhé výstupy  $X_1$  až  $X_n$  a  $Y_1$  až  $Y_n$  měničů  $F_1$  až  $F_n$  proudu na napětí a vstupy  $B_1$  až  $B_n$  druhého sčítacího obvodu  $M_1$  a vstupy  $B_1$  až  $B_n$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$ . Na výstup prvního sčítacího obvodu  $M_1$  a druhého sčítacího obvodu  $M_2$  je zapojen klopný obvod  $H$ , jehož součástí je rozdílový obvod  $Z$  jako vstupní část klopného obvodu  $H$  a zesilovač  $E$  s hysterezí, napojený na potenciometr  $P_1$ , jehož výstup je výstupem klopného obvodu  $H$  a jenž je připojen na vstup spínacího obvodu  $J$ , majícího výstup  $K$ .

Zapojení podle vynálezu pracuje následovně.

Potenciál od vstupu  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  se dostává, rozdělen pátým a šestým odporem  $R_5$  a  $R_6$ , na invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$ . První, druhý, třetí a čtvrtý odpor  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  a  $R_4$  tvoří sčítací obvod. Signál úměrný součtu potenciálů vstupů  $B_1$ ,  $B_2$  a  $B_3$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  se dostává přímo na neinvertující vstup  $S_2$  operačního zesilovače  $IC1$ . První a druhý kondenzátor  $C_1$ ,  $C_2$  slouží pro ochranu proti rušivým impulsům. Stejnosemenná úroveň invertujícího vstupu  $S_1$  se dá regulovat přes osmý odpor  $R_8$  potenciometrem  $P_1$ . Potřebné regulační pásmo potenciometru  $P_1$  je vymezeno dvanáctým a třináctým odporem  $R_{12}$  a  $R_{13}$ . Na invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$  může přes sedmý odpor  $R_7$  a první diodu  $D_1$  dojít signál představující do základní polohy. Neinvertující vstup  $S_2$  operačního zesilovače  $IC1$  dostává od výstupu operačního zesilovače  $IC1$  kladnou zpětnou vazbu, a sice přes devátý odpor  $R_9$  v míře určené desátým a jedenáctým

odporem  $R_{10}$  a  $R_{11}$ , jakož i druhou diodou  $D_2$ . Výstup operačního zesilovače  $IC1$  může přes čtrnáctý odpor  $R_{14}$  a třetí diodu  $D_3$  dodávat proud báze pro tranzistor  $T_1$ , přičemž při chybějícím otevíracím proudu dbá patnáctý odpor  $R_{15}$  o bezpečné uzavření tranzistoru  $T_1$ .

V případě nulového zatěžovacího proudu jsou potenciály vstupu  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  a vstupů  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  stejné, ježto mezi koncovými body měničů  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  proudu na napětí není žádný napěťový rozdíl. Kdyby invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$  byl spojen jen se vstupem  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  a neinvertující vstup  $S_2$  operačního zesilovače  $IC1$  byl spojen jen se vstupy  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$ , pak by potenciály invertujícího vstupu  $S_1$  a neinvertujícího vstupu  $S_2$  operačního zesilovače  $IC1$  byly stejné. U znázorněného uspořádání leží však invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$  na kladnější a jeho neinvertující vstup  $S_2$  na zápornější úrovni než v právě vylíčeném stavu. Důvodem pro to je, že v základním stavu poskytuje výstup operačního zesilovače  $IC1$  záporné napětí, popřípadě prostřednictvím potenciometru  $P_1$  je invertujícímu vstupu  $S_1$  operačního zesilovače  $IC1$  přiváděna kladná úroveň. Proto je záporná úroveň výstupu operačního zesilovače  $IC1$  stabilní. V důsledku toho tranzistor  $T_1$  nevede a na výstupu  $K$  spínacího obvodu  $J$  nemůže téci žádný proud. Při výskytu a zvyšování proudů kontrolovaných větví vyskytují se na měničích  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  proudu na napětí vždy větší úbytky napětí. Přivádění těchto proudů na vstup  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  a na vstupech  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_3$  druhého sčítacího obvodu má takový význam, že zvýšením zatěžovacích proudů se potenciálový rozdíl mezi invertujícím vstupem  $S_1$  a neinvertujícím vstupem  $S_2$  operačního zesilovače  $IC1$  zmenší. Když součet zatěžovacích proudů dosáhne maximální hodnoty, musí potenciálový rozdíl na těchto vstupech klesnout až na nulu. Nyní se výstup operačního zesilovače  $IC1$  náhle překlopí, dosáhne kladné úrovně a učiní tranzistor  $T_1$  vodivým. Přitom se dá pomocí kolektorového proudu tranzistoru  $T_1$  síť nějakým známým způsobem odpojit, například pomocí přemostění budicího proudu sériových propustných stupňů. V tomto provedení má operační zesilovač  $IC1$  silnou kladnou zpětnou vazbu, proto se dá obvod kladnými impulsy přivedenými na vstup  $R$  signálu představujícího do základní polohy opět uvést v základní stav. Tento děj je potvrzením závady.

Druhý příklad provedení, jehož uspořádání je znázorněno na obr. 2, slouží pro kontrolu jediné větve střídavé sítě. V uvedeném příkladu má mít kontrolovaná síť kapacitní charakter. Tak je měnič  $F$  proudu na napětí rovněž reaktivní, a sice realizován s výhodou jako cívka. Cívka má indukčnost  $FL$  a ztrátový odpor  $FR$ .

Otevírání a zavírání čtvrté až sedmé diody  $D_4$ ,  $D_5$ ,  $D_6$ ,  $D_7$  uskutečňující se každou půlperiodu, je obstaráváno napětími  $U_x$  a  $U_y$  kontrolovaného obvodu. Síťové napětí se ve srovnání se společným nulovým bodem objevuje na druhém výstupu  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí a s fázovou a amplitudovou odchylkou, závislou na impedanci měniče  $F$  proudu na napětí, také na prvním výstupu  $X_1$  měniče  $F$  proudu na napětí. Tato fázová a amplitudová odchylka představuje napětí, které je úměrné okamžité hodnotě zatěžovacího proudu  $I_t$ . Nutným předpokladem provozu je, že znaménka napětí na prvním a druhém výstupu  $X_1$  a  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí mají souhlasit, nejméně v okamžicích, kdy rozdíl těchto napětí dosáhne právě nejvyšší hodnoty. K dosažení tohoto předpokladu se přispívá také tím, že impedance měniče  $F$  proudu na napětí je nejméně o jeden řád nižší než impedance zátěže, to jest fázový úhel napětí mezi prvním a druhým výstupem  $X_1$  a  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí je ve srovnání s fázovým úhlem zátěže malý. Pro bezvadnou funkci stačí podmínka, že napětí jevící se v prvním a druhém výstupu  $X_1$ ,  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí se mají přivést na vstup  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  a na vstup  $B_1$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  tak, že z obou napětí má v okamžiku špičkové hodnoty rozdíl obou napětí dospět na vstup  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  vždy záporné napětí a na vstup  $B_1$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  vždy kladné napětí. V důsledku kapacitního charakteru sítě zpozdí se napětí prvního a druhého výstupu  $X_1$ ,  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí (tedy napětí  $U_x$  a  $U_y$ ) asi o  $90^\circ$  ve srovnání se zatěžovacím proudem  $I_t$ , zatímco v důsledku induktivního charakteru měniče  $F$  proudu na napětí napěťový rozdíl mezi prvním a druhým výstupem  $X_1$ ,  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí (tedy napětí  $U_t$ ) ve srovnání se zatěžovacím proudem  $I_t$  předbíhá asi o  $90^\circ$ . Ve srovnání se síťovými napětími  $U_x$  a  $U_y$  je tedy kontrolované napětí  $U_t$  přibližně v protifázi. To znamená, že v okamžiku nejvyšší hodnoty napětí  $U_y$  — a napětí  $U_x$  k němu časově blízko ležícího — když je na prvním výstupu  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí kladný potenciál, je druhý výstup  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí současně zápornější než první výstup  $X_1$  měniče  $F$  proudu na napětí, popřípadě když je na druhém výstupu  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí záporný potenciál, stane se druhý výstup  $Y_1$  měniče  $F$  proudu na napětí současně kladnějším než první výstup  $X_1$  měniče  $F$  proudu na napětí. Čtvrtá až sedmá dioda  $D_4$ ,  $D_5$ ,  $D_6$ ,  $D_7$  se otevírají, popřípadě zavírají v pořadí, v němž kontrolované napětí  $U_t$  je na vstupu  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  a vstupu  $B_1$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  přikládáno v opačné fázi k síťovému napětí  $U_x$  a  $U_y$ . Poněvadž to znamená další pootočení fáze, je nutná a postačující provozní pod-

mínka splněna. Průběh fázových poměrů je znázorněn na obr. 3.

Ostatní části obvodu podle obr. 2 fungující podobně jako části obvodu podle obr. 1. Výstup **K** spínacího obvodu **J** stačí řídit člen přerušující zatěžovací proud  $I_t$  například tak, že přemostuje proud báze výkonového tranzistoru umístěného ve větvi můstku čtveřice diod.

U nejobecnějšího provedení mohou být vstupy navzájem galvanicky nezávislé a také jejich počet se dá volit libovolně. Přepínač **P** polarity dbá o to, aby potenciály mezi jedním z prvních výstupů  $X_1$  až  $X_n$  a jedním z druhých výstupů  $Y_1$  až  $Y_n$  měničů  $F_1$  až  $F_n$  proudu na napětí byly v každém časovém úseku přiváděny na vstupy  $A_1$  až  $A_n$  prvního sčítacího obvodu a na vstupy  $B_1$  až  $B_n$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  se správnou polaritou.

Přiřazení je vyřešeno tak, že dvojici první výstup  $X_1$ , druhý výstup  $Y_1$  měniče  $F_1$  proudu na napětí odpovídá dvojice vstup  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$ , vstup  $B_1$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$ , dvojici první vstup  $X_2$ , druhý výstup  $Y_2$  měniče  $F_2$  proudu na napětí odpovídá dvojice vstup  $A_2$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$ , vstup  $B_2$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$  a tak dále. Správnou polaritou je míněno, že z dvojice první výstup  $X_1$ , druhý výstup  $Y_1$  měniče  $F_1$  proudu na napětí má být ve spojení se vstupem  $A_1$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$  vždy člen se zápornějším potenciálem, zatímco člen s kladnějším potenciálem má být ve spojení se vstupem  $B_1$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$ . Totéž platí podle smyslu také pro další dvojice. Na tento způsob musí být postupně zápornější členy dvojic první výstup  $X_1$ , druhý výstup  $Y_1$  měniče  $F_1$  proudu na napětí až první výstup  $X_n$  měniče  $F_n$  proudu na napětí spojeny se vstupem  $A_1$  až  $A_n$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$ , kladnější členy uvedených dvojic se vstupy  $B_1$  až  $B_n$  druhého sčítacího obvodu  $M_2$ . Přepínač **P** polarity je s výhodou tvořen diodovou sítí, zatímco otevírání a zavírání diod je obstaráváno samotnou kontrolovanou sítí.

S potenciálovými hodnotami takto oddělenými provádějí první sčítací obvod  $M_1$  a druhý sčítací obvod  $M_2$  sčítání. Sčítání se může stran jednotlivých členů dít buď lineárně, nebo na základě důležitosti v daném okamžiku. Na výstupu prvního sčítacího obvodu  $M_1$  spojeném s invertujícím vstupem  $S_1$  operačního zesilovače **IC1** se tedy objevuje signál úměrný součtu napětí vstupů  $A_1$  až  $A_n$  prvního sčítacího obvodu  $M_1$ , který podle předcházejícího představuje součet napětí členů s vždy zápornějším potenciálem z kontrolovaných napětí  $U_{f1}$  až  $U_{fn}$ . Podobně se na výstupu druhého sčítacího obvodu  $M_2$  spojeném s neinvertujícím vstupem  $S_2$  operačního zesilovače **IC1** objevuje signál úměrný součtu napětí členů se vždy kladnějším potenciálem z kontrolovaných napětí  $U_{f1}$  až  $U_{fn}$ .

Při vzrůstu jednoho nebo veškerých kontrolovaných napětí  $U_{f1}$  až  $U_{fn}$  stane se invertující vstup  $S_1$  operačního zesilovače **IC1** zápornějším, zatímco neinvertující vstup  $S_2$  operačního zesilovače **IC1** se stane kladnějším v porovnání s hodnotou při nulové hodnotě napětí  $U_{f1}$  až  $U_{fn}$ . To znamená, že v případě vzrůstu napětí  $U_{f1}$  až  $U_{fn}$  se potenciálový rozdíl mezi invertujícím vstupem  $S_1$  a neinvertujícím vstupem  $S_2$  operačního zesilovače **IC1** zvýší. Tento potenciálový rozdíl se vytváří rozdílovým obvodem **Z**.

Rozdílový obvod **Z** je součástí klopného obvodu **H**, to jest obvodu pro vytváření chybového signálu, s nastavitelným bodem překlopení, který je opatřen výstupem se dvěma stavy. V klopném obvodu **H** řídí rozdílový signál zesilovač **E** s hysterezí o vysoké citlivosti. Pokud vstupní úroveň zesilovače **E** s hysterezí leží pod danou hodnotou, je výstup klopného obvodu **H** v jednom ze stabilních stavů. Když vstupní potenciál zesilovače **E** s hysterezí přesáhne kritickou hodnotu, překlopí se výstup klopného obvodu **H** do jiného stabilního stavu. Tento bod překlopení se dá plynule měnit potenciometrem **P1**, přičemž hystereze zesilovače **E** s hysterezí závisí na zvolených členech.

Výstup klopného obvodu **H** uvádí v činnost spínací obvod **J**. Spínací obvod **J** přepne tedy stav, kdyby součet kontrolovaných napětí  $U_{f1}$  až  $U_{fn}$  měl překročit předem nastavenou hodnotu. Tato vlastnost obvodu se dá využít pro nadproudovou ochranu. Klopný obvod **H** může být s výhodou realizován pomocí operačního zesilovače, který je schopen s několika pasivními členy plnit úlohu vytváření rozdílu a zesilování, přičemž zaujímá dva diskrétní výstupní stavy při volitelné hysterezi. Spínací obvod **J** může být realizován tranzistorem.

Základní myšlenkou je, že se vytvářejí napětí velmi nízkých hodnot, která jsou úměrná zatěžovacímu proudu současně kontrolovaných větví, přičemž body se spodním a horním potenciálem napětí jsou ve správné polaritě připojeny vždy na jeden analogový sčítací obvod a rozdíl obou výstupů sčítacího obvodu se zesiluje vysoce citlivým stejnosměrným zesilovačem. Patří ještě k podstatě vynálezu, že výstup zesilovače má dva diskrétní stavy, takže šířka hysterezní smyčky tvořené přechody stavů, může být zvolena tak, aby odpovídala potřebě, zatímco místo změny stavu, vztažené na vstupní úroveň zesilovače, se dá plynule měnit, dále, že výstup zesilovače obstarává řízení spínacího prvku. Nejobecnější řešení se řídí podle nejrůznějších aktuálních požadavků. Některé častěji se vyskytující případy jsou: — V případě paralelně zapojených stejnosměrných propustných stupňů, u nichž jsou výstupy spojeny v uzel, zjednodušuje se jeden ze sčítacích obvodů na obvod pro přízpůsobení úrovně, ježto jeden z potenciálů je totožný s napětími úměrnými proudům větví,

— Ježto v důsledku vytváření rozdílu soufázové signály obou sčítacích obvodů odpadají, hodí se toto zapojení přímo pro kontrolu maximálních proudů sítě s pulsujícím stejnosměrným napětím.

— Zapojení podle vynálezu může též obstarávat kontrolu maximálního proudu větve sítě s čistě střídavým napětím. Použije-li se jako sériového kontrolního členu ohmického odporu, pak činí teoretická mezní hodnota bezvadné funkce, vztažená na síťový fázový úhel  $\pm 90^\circ$ .

— Při kontrole jalového proudu reaktivních sítí nepoužije se ohmický odpor jako kontrolní člen, ale reaktance. Reaktance může být buď kapacitního nebo induktivního charakteru, nezávisle na znaménku fázového úhlu sítě.

— Když se pomocí zapojení podle vynálezu současně kontrolují fázové a linkové proudy trojfázové sítě, lze pro maximální hodnotu proudu nulového řádu trojfázové sítě určit horní mez.

U odpovídajícího provedení zapojení podle vynálezu jsou jednotlivé funkce realizované následovně. O připojení na sčítací obvody se správnou polaritou pečuje spínací jednotka sestávající z diod, když se může očekávat, že v kontrolované větvi mění proud znaménko; sčítací obvody jsou realizovány prostřednictvím řetězce odporů; vytváření rozdílu, zesilování a srovnávání byly vyřešeny pomocí operačního zesilovače; přestavení bodu překlopení se děje přiložením předpětí na invertující vstup operačního zesilovače; jako spínacího členu je použito tranzistoru.

Použije-li se zapojení podle vynálezu ve stejnosměrné síti, vykazuje toto zapojení následující výhodné vlastnosti:

— Hodnota napěťového úbytku potřebného pro sériový kontrolní člen je nízká. V důsledku toho je také příkon proudové kontroly nepatrný a tento snižuje účinnost napájecí sítě jen nepatrně.

— Při použití již uvedeného napájecí jednotky 5 V, 10 A je nutno vytvořit na kontrolním členu napěťový úbytek 0,2 V až 0,25 V. Proto činí příkon při kontrole proudu 2 až 2,5 W, což činí jen 4 až 5 % užitečného výkonu napájecí jednotky.

— Změna nastavené hodnoty nejvyššího proudu je v závislosti na teplotě nepatrná. V důsledku toho může být zabudovaný, mimo užitečný výkon potřebný výkon napájecí jednotky relativně nízký.

Za předpokladu změny provozní teploty od 0 do 60 °C zůstane maximální proud pro

nadproudovou ochranu konstantním v rozmezí  $\pm 2\%$ .

— Hodnota maximálního proudu může být měněna plynule; nastavování se provádí nikoliv ve výkonové větvi, ale v děliči napětí s nízkým proudem.

— Při funkci omezování proudu redukuje se jak napětí, tak proud výstupu na nulu, zcela nezávisle na výši vzniklého přetížení. Po odstranění přetížení se dá systém okamžitě opět uvést v chod.

— Existuje možnost kontrolovat současně součet více na sobě nezávislých napěťových úrovní a rozdílných proudů zatěžujících větve.

— V případě proudové kontroly více větví existuje možnost dbát proudů na základě jejich dočasné důležitosti. To umožňuje například nepřímou kontrolu celkového výkonu systému.

— Při vypadnutí sítě je možnost volby samočinného sepnutí napájecí jednotky po opětovném získání síťového napětí nebo provedení zásahu obsluhou.

— Provoz není ovlivněn napěťovou úrovní kontrolované sítě. V důsledku toho může být kontrolován i proud větve s nulovou úrovní.

— Konstrukce zapojení je jednoduchá, mimo nastavení maximálního proudu není třeba žádného seřízení.

Použije-li se zapojení podle vynálezu ve střídavé síti, pak zapojení má tyto výhodné vlastnosti:

— Ježto se kontroluje maximální hodnota proudu, činí ztráta vznikající na kontrolním členu za stejných podmínek 1–2násobek ztráty vznikající u stejnosměrného proudu.

— Použije-li se ohmického kontrolního členu, pak existuje jen podmínka, že fázový úhel sítě se neblíží  $\pm 90^\circ$ .

U obvyklých spotřebitelských sítí je tato podmínka dalece splněna.

— U reaktivních sítí se dá v každém případě použít kontrolního členu s induktivním charakterem. To je proto důležité, poněvadž v praxi je obecně mnohem snadnějším vyrobit cívky o nízké impedanci a pro vysoký proud než kondenzátor nezávislý na polaritě o těchže jmenovitých hodnotách.

— Zapojení lze učinit galvanicky nezávislé na kontrolované síti. Při oddělení kondenzátorem nebo transformátorem vyrovnají se v případě členů se stejnými hodnotami fázová natočení oddělovacích členů.

— Zapojení je použitelné i u trojfázových sítí, například pro kontrolu maximálních proudů nulového řádu.

## PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Zapojení ke kontrole součtu intenzit proudů alespoň ve dvou větvích elektrické sítě, obsahující sčítací obvody a operační zesilovače a v jednotlivých větvích je uspořádán měnič proudu na napětí, vyznačující se tím, že první výstupy ( $X_1$  až  $X_n$ ) měničů ( $F, F_1$  až  $F_n$ ) proudu na napětí jsou vzájemně odděleně připojeny ke vstupům ( $A_1$  až  $A_n$ ) prvního sčítacího obvodu ( $M_1$ ) a druhé výstupy ( $Y_1$  až  $Y_n$ ) měničů ( $F, F_1$  až  $F_n$ ) proudu na napětí jsou vzájemně odděleně připojeny ke vstupům ( $B_1$  až  $B_n$ ) druhého sčítacího obvodu ( $M_2$ ), výstupy prvního sčítacího

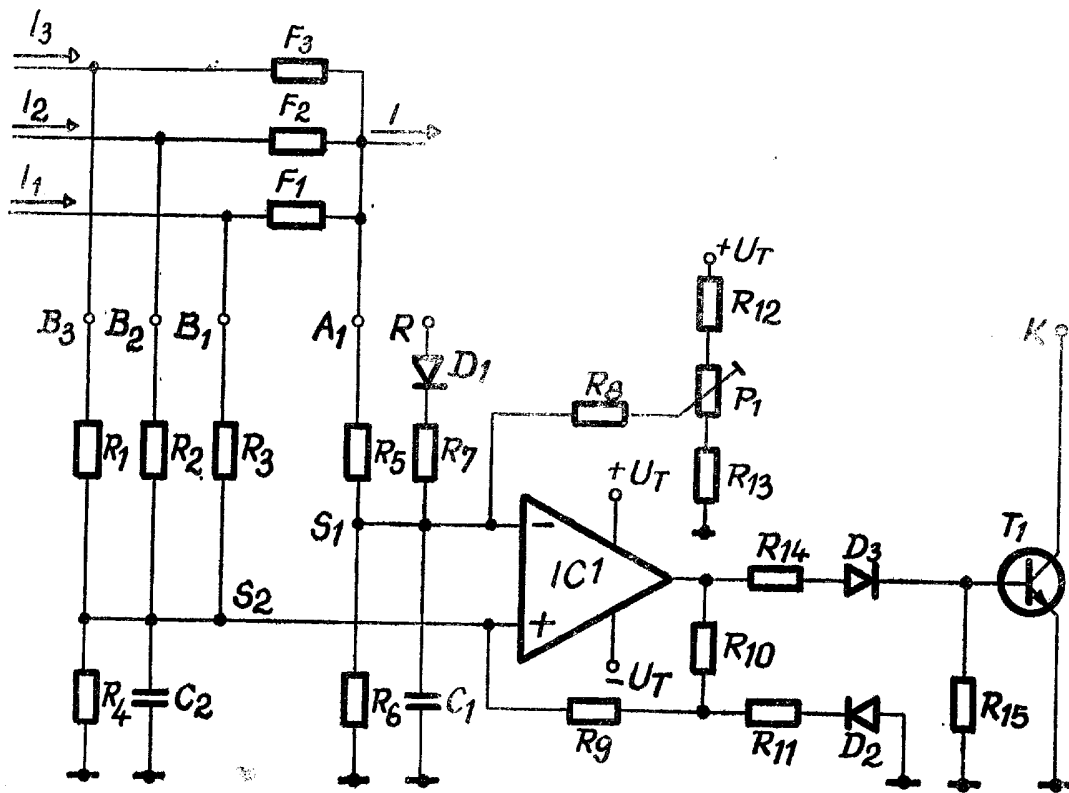
obvodu ( $M_1$ ) a druhého sčítacího obvodu ( $M_2$ ) jsou připojeny jednotlivě vždy k jednomu vstupu rozdílového obvodu ( $Z$ ) a výstup rozdílového obvodu ( $Z$ ) je spojen se vstupem klopného obvodu ( $H$ ) tvořeného zesilovačem ( $E$ ) obsahujícím hysterezní prvek, přičemž výstup klopného obvodu ( $H$ ) je připojen na vstup spínacího obvodu ( $J$ ).

2. Zapojení podle bodu 1 vyznačující se tím, že mezi měniči ( $F, F_1$  až  $F_n$ ) proudu na napětí a prvním sčítacím obvodem ( $M_1$ ) a druhým sčítacím obvodem ( $M_2$ ) je vložen přepínač ( $P$ ) polarity.

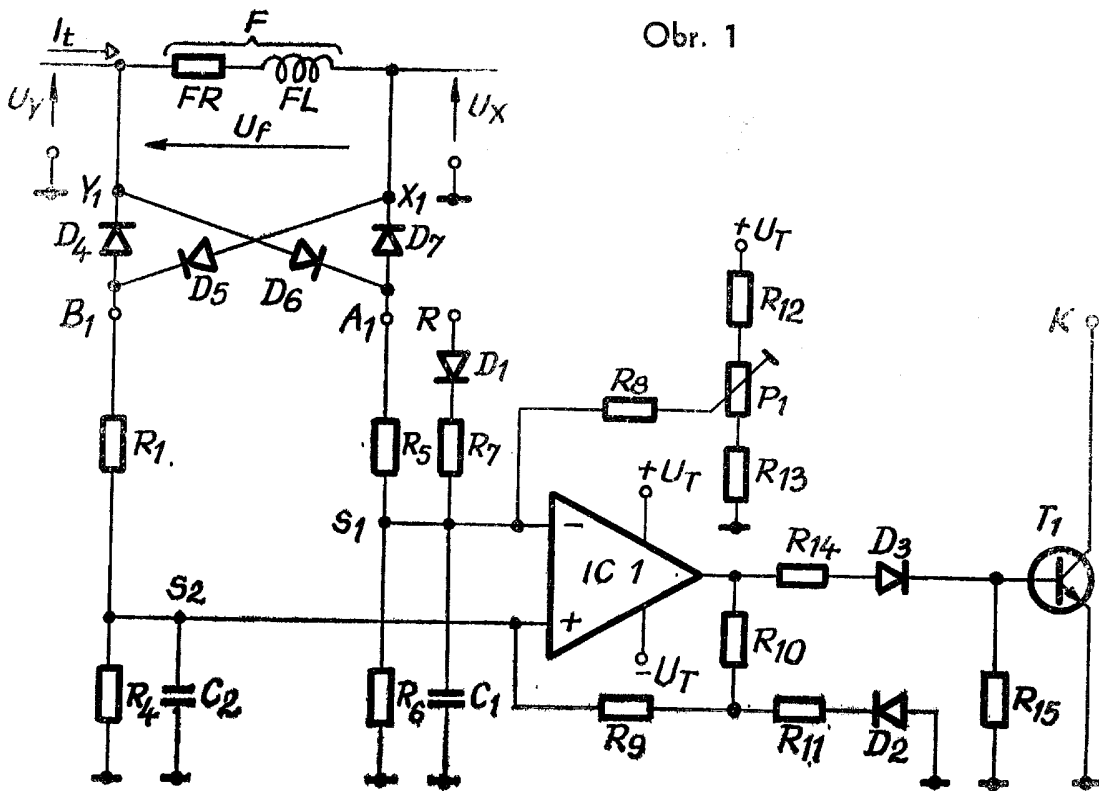
---

2 listy výkresů

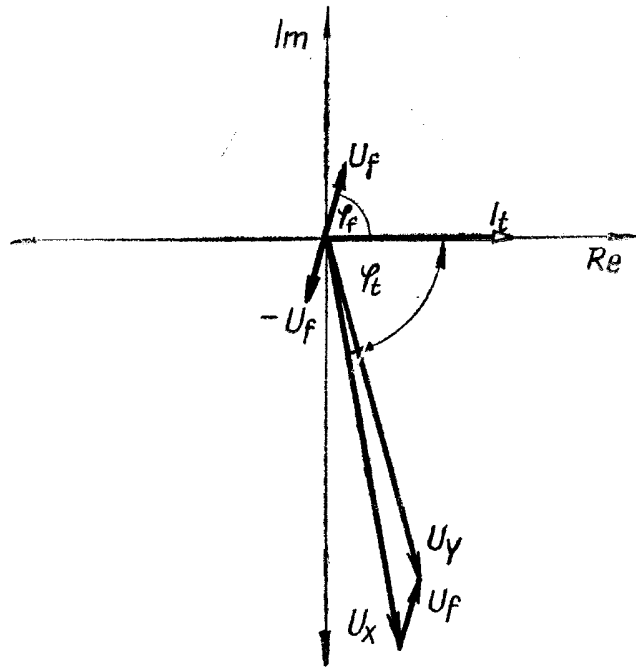
---



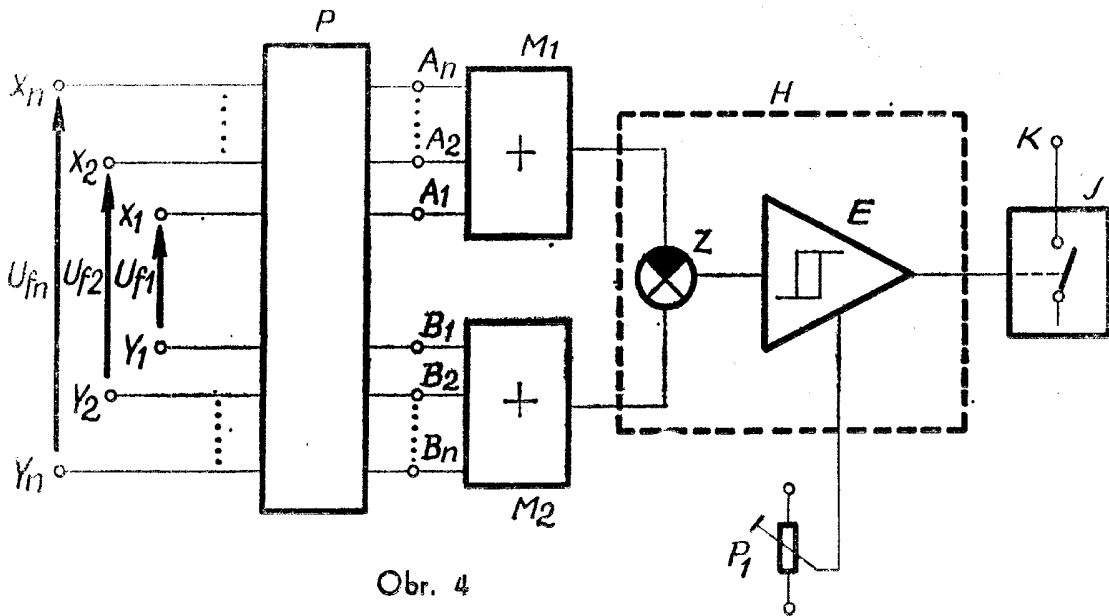
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4