



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

200 853

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 04 07 78
(21) PV 4426-78

(51) Int. Cl.³ G 01 R 19/10 ✓

(40) Zveřejněno 31 01 80
(45) Vydáno 01 02 83

(75)
Autor vynálezu BLAHA EDUARD ing. a ZOUNEK JAN ing., BRNO

(54) Zapojení k měření poměru dvou napětí

1

Vynález se týká zapojení k měření poměru dvou napětí dvoukanálovým voltmetrem sestávajícího v podstatě z měřicího a referenčního kanálu a obvodů pro zajištění souběhu zesílení obou kanálů a dosažení nejmenší chyby měření poměru napětí.

Měření poměru dvou napětí je vedle měření napětí nejčastějším použitím voltmetru v nízkofrekvenční a vysokofrekvenční měřicí technice. Měření poměru napětí je nejvíce používáno při měření zisku zesilovačů nebo útlumu děličů a filtrů. Měřený objekt - čtyřpól - je spojen se zdrojem napětí, například signálním generátorem, a dvoukanálovým voltmetrem je měřen poměr mezi výstupním napětím U_B a vstupním napětím U_A měřeného objektu, často i bez požadavku měření vzájemné fáze mezi dvěma napětími U_A a U_B . Je-li také měřena fáze, pak například zisk je určen obecně komplexním výrazem:

$$\frac{U_B}{U_A} = \left| \frac{U_B}{U_A} \right| \cdot e^{j\varphi}.$$

Vedle tohoto nejužívanějšího použití je měření poměru napětí používáno zejména při měření úplné matice s-parametrů čtyřpólů. Z této matice lze pak určit všechny potřebné veličiny čtyřpólu, jako například vstupní a výstupní impedanci, výkonový zisk, činitel

stability, skupinové zpoždění, atd. Každý člen matice s-parametrů s_{11} , s_{21} , s_{12} , s_{22} je totiž definován jako poměr dvou napětí, a to napětí U_i vlny vstupující do čtyřpólu k napětí U_o vlny vystupující ze čtyřpólu. S-parametry jsou tedy obecně rovněž, stejně jako poměr mezi dvěma napětími $U_B : U_A$, bezrozměrná komplexní čísla tvaru

$$s = \frac{U_o}{U_i} e^{j\varphi}.$$

Definice s-parametrů používá tedy odražených a přímých vln napětí ve vysokofrekvenčních vedeních a měření poměru napětí $U_o : U_i$ umožňuje tedy také definovat činitel odrazu, poměr stojatých vln a jiné parametry vedení. Napětí U_o a U_i jsou v koaxiálních vedeních nejčastěji snímána směrovými vazbami.

Význam měření poměru napětí v celém kmitočtovém pásmu je tedy zřejmý a je proto pochopitelné, že je snaha řešit měřicí přístroje tak, aby nebylo nutné měřit obě napětí jednotlivě a počítat jejich poměr, ale aby měřicí zařízení bylo vybaveno tak, aby údaj poměru byl odečítán přímo v jednom měření. K tomu přistupuje současně požadavek, aby změny úrovně výstupního napětí signálního generátoru napájecího měřený čtyřpól, ke kterým dochází například při přeladování kmitočtu signálního generátoru, neměly vliv na údaj poměru mezi dvěma napětími $U_B : U_A$, pokud se jeho hodnota s kmitočtem nebo úrovní signálu sama nemění. Při tom je důležité, aby chyba měření poměru i za těchto podmínek byla minimální a nezměnila se v závislosti na úrovni signálu.

Uvedené skutečnosti představují základní požadavky na přímé měření poměru. Jsou to tedy tyto požadavky: přímý údaj poměru napětí $U_B : U_A$, nezávislost údaje poměru napětí $U_B : U_A$ na změnách úrovně signálu v kanálu A o $\pm N$ dB a minimální chyba měření poměru.

Měření poměru dvou napětí je nejčastěji prováděno tak, že je změřeno vstupní napětí U_A , pak výstupní napětí U_B , a poměr napětí je určen potom početně jako poměr napětí $U_B : U_A$. Má-li voltmetr dB stupnici, pak poměr můžeme určit v dB jako rozdíl úrovní signálů U_B a U_A vyjádřených v dB. Takto lze například měřit zisk, útlum, atd. i pomocí jednokanálového voltmetru. Je zřejmé, že tento způsob je pracný a zdlouhavý a neumožňuje určit fázi.

Moderní měřicí technika vyžaduje však přímé měření poměru napětí s přímým odečtem poměru napětí $U_B : U_A$ bez nutnosti výpočtu nebo dostavování, a kromě toho i měření vzájemné fáze těchto napětí. Tyto požadavky mohou splnit až dvoukanálové voltmetry, které snímají současně obě napětí U_A a U_B . Takové přístroje mohou měřit i fázi mezi těmito signály přímo ukazujícím způsobem, ale poměr napětí $U_B : U_A$, pokud k tomu přístroj není zvlášť uzpůsoben, nemůže měřit jinak než zase jako jednotlivé měření napětí U_A a U_B a výsledný poměr je nutno určit výpočtem.

Poněvadž měření poměru napětí je velmi časté a představuje převážné použití dvoukanálového voltmetru na nízkofrekvenčních a vysokofrekvenčních kmitočtech, je již řadu let snaha provádět měření poměru napětí co nejjednodušším a nejrychlejším způsobem hned jako

poměr. Většina těchto zařízení toto přímé měření poměru provádí tak, že úroveň měrného signálu napětí U_A na vstupu čtyřpólu je udržována konstantní pomocí automatické regulační smyčky, která z výstupu voltmetru měřícího úroveň signálu v referenčním kanálu na vstupu čtyřpólu musí ovládat výstupní napětí signálního generátoru. Tak byly řešeny různé rozmítané soupravy, atd. Je-li totiž úroveň napětí $U_A = \text{konst.}$, pak výstupní napětí U_B čtyřpólu je přímo úměrné poměru napětí p , poněvadž platí:

$$p = \frac{U_B}{U_A} = \frac{U_B}{\text{konst.}} = k \cdot U_B$$

Napětí U_B měřené měřicím kanálem voltmetru je tedy úměrné poměru napětí $U_B : U_A$, kde k je konstanta úměrnosti. Řešení takové regulace, vzhledem k tomu, že je nutno z výstupu jednoho přístroje, například voltmetru, řídit jiný přístroj, například výstup vysokofrekvenčního signálního generátoru, představuje náročnou problematiku, pokud by tato regulace měla spolehlivě pracovat v širokém pásmu kmitočtů i v širokém rozsahu úrovní signálu. Regulace vestavěná přímo v generátoru totiž nezaručuje na vysokofrekvenčních kmitočtech, že totéž napětí, které je na výstupu je i na vzdáleném vstupu měřeného čtyřpólu. Je tedy zřejmé, že byla snaha tuto regulaci provést jinak, a to tak, aby nebylo nutné řízení úrovní vysokofrekvenčního signálu na výstupu generátoru a celý regulační proces byl uskutečněn se stejným výsledkem uvnitř samotného voltmetru, i za cenu toho, že skutečné napětí U_A na vstupu měřeného objektu nemá nyní konstantní hodnotu. Současné voltmetry pracující na principu přeměny vysokofrekvenčních kmitočtů signálů na pevný mezifrekvenční kmitočet provádějí tuto regulaci, jejímž cílem je přímé měření poměru na svém pevném mezifrekvenčním kmitočtu. Tento kmitočet je například pro heterodynní voltmetry 10,7 MHz, pro vzorkovací vektorvoltmetry např. 20 kHz nebo 5 kHz. Provedení jednotlivých řešení je však různé, různý je i stupeň splnění uvedených požadavků na přímé měření poměru.

Nevýhodou dosavadních zapojení je především to, že podle velikosti poměru obou napětí je nutno volit příslušnou střední úroveň signálu 0 dB v referenčním kanálu, a není tak např. možné měřit určitou hodnotu poměru s požadovanou střední úrovní v kanálu A 0 dB. Jiná řešení mají jen jednu úroveň 0 dB, obvykle cca 100 mV a jsou nevhodné pro měření zisku, pro něž je nejvhodnější signál A cca 1 mV. Nedostatky dosavadních zapojení mohou tedy vést např. k tomu, že není splněna podmínka měření parametrů čtyřpólů signálem, který nepřekročí lineární oblast charakteristik čtyřpólů.

Tyto dosavadní nevýhody odstraňuje zapojení k měření poměru dvou napětí dvoukanalovým voltmetrem sestávající v základě z měřícího a referenčního kanálu. Jeho podstatou je, že vstupní svorka měřícího kanálu je spojena přes první oddělovací zesilovač s uzlem prvního regulačního odporu a s prvním kolektorem dvojitého tranzistoru řízeného polem, jehož první emitor je spojen přes první svodový odpor se zemním vodičem a s prvním vstupem prvního zesilovače s řízeným zesílením, jehož druhý vstup je spojen

s prvním regulačním odporem a přes první vazební odpor s jeho výstupem, který je spojen přes první detektor s voltmetrem, zatímco vstupní svorka referenčního kanálu je spojena přes dělicí odpory se zemním vodičem a přes přepínač a druhý oddělovací zesilovač s oddělovacím odporem a s druhým kolektorem dvojitého tranzistoru řízeného polem, jehož druhý emitor je spojen přes druhý svodový odpor se zemním vodičem a s prvním vstupem druhého zesilovače s řízeným zesílením, jehož druhý vstup je spojen s oddělovacím odporem a přes druhý vazební odpor s jeho výstupem spojeným přes druhý detektor s prvním vstupem zesilovače odchylky, jehož druhý vstup je spojen s běžcem druhého regulačního odporu zapojeného se svorkami zdroje referenčního napětí a výstup zesilovače odchylky je spojen s běžcem třetího regulačního odporu spojeného jednak s prvním a druhým hradlem dvojitého tranzistoru řízeného polem a jednak se dvěma koncovými odpory děliče spojeného se zdrojem napětí.

Předností zapojení je, že vylučuje vliv rozdílů v zesílení mezi zesilovači s řízeným zesílením měřicího kanálu a referenčního kanálu a zaručuje vzájemný souběh pomocí souběhových prvků. Další výhodou tohoto zapojení je, že umožňuje v měřicím kanálu pracovat se stejnosměrným signálem a v referenčním kanálu pracovat se střídavým signálem, čímž se zabráňuje pronikání střídavého signálu mezi oběma tranzistory dvojitého tranzistoru řízeného polem pro mezifrekvenční kmitočty vyšší jak 50 kHz. Tento pracovní režim umožňuje přemístění detektoru z výstupu prvního zesilovače s řízeným zesílením mezi výstup oddělovacího zesilovače a společný uzel prvního regulačního odporu a prvního kolektoru dvojitého tranzistoru řízeného polem.

Vynález blíže objasní přiložený výkres, kde na obr. 1 je uveden příklad zapojení a na obr. 2 grafické znázornění vzájemného vztahu obou zesilovačů s řízeným zesílením v závislosti na velikosti signálu.

Zapojení na obr. 1 sestává z měřicího kanálu B, jehož vstupní svorka 1 je spojena přes první oddělovací zesilovač 3 přímo, nebo při druhé variantě přes detektor 25, kdy je detektor 4 vynechán, s uzlem prvního kolektoru dvojitého tranzistoru 5 řízeného polem například typu FET, a s prvním regulačním odporem 6 druhým vývodem spojeným jednak přes první vazební odpor 7 s výstupem prvního zesilovače 8 s řízeným zesílením a jednak s jeho prvním vstupem. Druhý vstup prvního zesilovače 8 s řízeným zesílením je spojen s prvním emitorem dvojitého tranzistoru 5 řízeného polem a přes první svodový odpor 9 se zemním vodičem. Výstup prvního zesilovače 8 s řízeným zesílením je přes první detektor 4 spojen s voltmetrem 10. Referenční kanál A je vstupní svorkou 2 spojen přes dělicí odpory 11 a 12 se zemním vodičem a přes přepínač 14 s druhým oddělovacím zesilovačem 13, jehož výstup je spojen s uzlem druhého kolektoru dvojitého tranzistoru 5 řízeného polem a s oddělovacím odporem 16 spojeným do uzlu s druhým vstupem druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením a přes druhý vazební odpor 17 s jeho výstupem. První vstup druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením je spojen s druhým emitorem dvojitého tranzistoru 5 řízeného polem a přes druhý svodový odpor 19 se zemním vodičem. Výstup druhého zesilovače

18 s řízeným zesílením je spojen přes druhý detektor 15 s prvním vstupem zesilovače 20 odchylky, jehož druhý vstup je spojen s běžcem druhého regulačního odporu 21 spojeného se zdrojem referenčního napětí U_1 . Obě hradla dvojitého tranzistoru 5 řízeného polem jsou spojena do uzlu mezi dělič ze dvou koncových odporů 22 a 24 a třetího regulačního odporu 23, jehož běžec je spojen s výstupem zesilovače 20 odchylky. Tento dělič je spojen se zdrojem napětí U_2 . Čárkovaně naznačený třetí detektor 25 je zapojen mezi výstup prvního oddělovacího zesilovače 3 při další variaci zapojení, přičemž první detektor 4 je nahrazen přímým spojením výstupu prvního zesilovače 8 s řízeným zesílením s voltmetrem 10.

Zapojení uvedené na obr. 1 zpracovává při měření současně dvě napětí. Měřicím kanálem B zpracovává napětí U_B přiváděné z výstupu měřeného čtyřpólu a referenčním kanálem A zpracovává napětí U_A přiváděné ze vstupu měřeného čtyřpólu. Napětí U_A , které se za provozu může měnit o $\pm N$ dB kolem střední hodnoty 0 dB, například $U_A = 0 \text{ dB} = 1 \text{ mV}$ nebo 100 mV, je ze vstupní svorky 2 referenčního kanálu A přivedeno přes dělicí odpory 11 a 12 a přepínač 14 na vstup oddělovacího regulačního zesilovače 13. Dělič z odporů 11 a 12 zajišťuje, že vstup druhého oddělovacího zesilovače 13 má stejnou hodnotu jak pro úroveň napětí $U_A = 0 \text{ dB} = 1 \text{ mV}$ tak i pro hodnotu 100 mV. Proto chyba měření poměru napětí $U_B : U_A$ je na těchto úrovních nezávislá. Výstup druhého oddělovacího zesilovače 13 je přiváděn na druhý zesilovač 18 s řízeným zesílením. Zesílení druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením je řízeno změnou odporu dráhy C-E druhého z dvojice tranzistoru 2 řízeného polem zapojeného ve zpětné vazbě druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením. Velikost jeho zesílení je závislá na velikosti napětí U_A , poněvadž je v činnosti regulační smyčka tvořená druhým zesilovačem 18 s řízeným zesílením, druhým detektorem 15, zesilovačem odchylky 20, referenční úrovní napětí na běžci druhého regulačního odporu 21 a druhým z dvojice tranzistoru 2 řízeného polem. Tato regulační smyčka udržuje výstupní napětí druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením konstantní, a to pro změny napětí U_A o $\pm N$ dB znamená stejně velké, ale opačné změny zesílení druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením. Napětí U_B z výstupu měřeného čtyřpólu je přiváděno na první vstupní svorku 1 měřicího kanálu B. Přes první oddělovací zesilovač 3 a první regulační odpor 6 je toto zpracované napětí převedeno k prvnímu zesilovači 8 s řízeným zesílením. Jeho zesílení je řízeno rovněž z výstupu zesilovače 20 odchylky, přičemž shodnost zesílení prvního zesilovače 8 s řízeným zesílením a druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením je umožněna souběžovými prvky-regulačními odpory 6, 21, 23. Výstup z prvního zesilovače 8 s řízeným zesílením je přes první detektor 4 přiváděn k voltmetru 10, jehož napětí U_M je úměrné poměru napětí $U_B : U_A$ a platí

$$U_M = k \cdot U_B : U_A.$$

Matematicky lze činnost zapojení popsat následujícím způsobem: Je-li vstupní napětí U_A druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením, pak jeho výstupní napětí U_A' je dáno

200 853

vztahem:

$$U_A' = U_A \cdot A_{18} = \text{REF} = \text{konst.},$$

kde A_{18} je zesílení druhého zesilovače 18 s řízeným zesílením a REF je úroveň na běžci druhého regulačního odporu 21. Z toho plyne

$$A_{18} = \text{REF}/U_A.$$

Při použití dvojitého tranzistoru 2 řízeného polem, realizovaného s ohledem na teplotní stálost a shodnost parametrů v jednom pouzdře na jednom substrátu, a při uvedeném zapojení souběhových prvků tvořených regulačními odpory 6, 21, 23 je zajištěno, že

$$A_8 = A_{18},$$

kde A_8 je zesílení prvního zesilovače 8 s řízeným zesílením v kanálu B. Poněvadž $A_8 = A_{18}$, je napětí U_M na výstupu kanálu B úměrné poměru napětí $U_B : U_A$, tedy

$$U_M = U_B \cdot A_8 = U_B \frac{\text{REF}}{U_A} = k \frac{U_B}{U_A}$$

Nejmenší chyba měření poměru napětí je tedy zajištěna vysokou shodností zesílení obou zesilovačů 8 a 18 s řízeným zesílením. Proto je pro řízení zesílení použit dvojitý tranzistor 2 řízený polem v jednom pouzdru a realizovány obvody pro nastavení souběhu pomocí souběhových prvků z regulačních odporů 6, 21, 23, takže signál pro hradla dvojitého tranzistoru 2 řízeného polem není shodný, ale je odebírán ze dvou rozdílných uzlů sítě na výstupu zesilovače 20 odchylky, v níž vlastní výstup zesilovače 20 odchylky tvoří nastavitelnou váhu na běžci třetího regulačního odporu 23, což umožňuje vyrovnat rozdíly obou tranzistorů 2 řízených polem a obou zesilovačů 8 a 18 s řízeným zesílením.

Vliv souběhových prvků na zesílení obou zesilovačů 8 a 18 s řízeným zesílením je znázorněn diagramem na obr. 2. Tento diagram představuje závislost zesílení A_8 a A_{18} na velikosti napětí U_A jak pro střední hodnotu napětí $U_A = 0$ dB, tak i při změnách napětí U_A o $\pm N$ dB od této střední hodnoty 0 dB. Velikost zesílení A_8 a A_{18} je vynášena na osu y v dB, velikost signálu U_A na osu x v dB. Ideální závislost zesílení A_8 a A_{18} na úrovni napětí U_A představuje přímka m. Ta současně znamená, že zesílení $A_8 = A_{18}$. Skutečné zesílení A_8 a A_{18} leží však mimo tuto přímku m, někde v oblasti souběhových prvků z regulačních odporů 6, 21, 23, jež je vyznačena čárkovaně. Každý souběhový prvek ovlivňuje převažujícím způsobem určitou oblast úrovní napětí U_A a je tedy možné vhodným nastavením regulačních odporů 6, 21, 23, nastavit minimální odchylky v zesílení A_8 a A_{18} a tím i minimální chybu při měření poměru napětí $U_B : U_A$. Pro mezifrekvenční kmitočty vyšší jak 50 kHz je vhodné vypustit první detektor 4 a zařadit mezi výstup prvního oddělovacího

zesilovače 3 detektor 25. Pak pronikání střídavých signálů mezi kanály A a B přes parazitní impedance mezi oběma tranzistory dvojitého tranzistoru 5 řízeného polem ve společném pouzdru nemá vliv na údaj poměru, poněvadž první z dvojice tranzistoru 5 pracuje se stejnosměrným napětím U_B a druhý z dvojice tranzistoru 5 se střídavým napětím U_A a kanály A a B se nemohou ovlivňovat. Na obr. 1 je tato varianta vyznačena čárkovaně.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Zapojení k měření poměru dvou napětí dvoukanálovým voltmetrem sestávající v podstatě z měřicího a referenčního kanálu, vyznačené tím, že vstupní svorka /1/ měřicího kanálu /B/ je spojena přes první oddělovací zesilovač /3/ s uzlem prvního regulačního odporu /6/ a s prvním kolektorem dvojitého tranzistoru /5/ řízeného polem, jehož první emitor je spojen přes první svodový odpor /9/ se zemním vodičem a s prvním vstupem prvního zesilovače /8/ s řízeným zesílením, jehož druhý vstup je spojen s prvním regulačním odporem /6/ a přes první vazební odpor /7/ s jeho výstupem, který je spojen před první detektor /4/ s voltmetrem /10/, zatímco vstupní svorka /2/ referenčního kanálu /A/ je spojena přes dělicí odpory /11, 12/ se zemním vodičem a přes přepínač /14/, druhý oddělovací zesilovač /13/ s oddělovacím odporem /16/ a s druhým kolektorem dvojitého tranzistoru /5/ řízeného polem, jehož druhý emitor je spojen přes druhý svodový odpor /19/ se zemním vodičem a s prvním vstupem druhého zesilovače /18/ s řízeným zesílením, jehož druhý vstup je spojen s oddělovacím odporem /16/ a přes druhý vazební odpor /17/ s jeho výstupem spojeným přes druhý detektor /15/ s prvním vstupem zesilovače odchylky /20/, jehož druhý vstup je spojen s běžcem druhého regulačního odporu /21/ spojeného se svorkami zdroje referenčního napětí U_1 / a výstup zesilovače odchylky /20/ je spojen s běžcem třetího regulačního odporu /23/ spojeného jednak s prvním a druhým hradlem dvojitého tranzistoru /5/ řízeného polem a jednak se dvěma koncovými odpory /22, 24/ děliče spojeného se zdrojem napětí U_2 /.
2. Zapojení podle bodu 1, vyznačené tím, že mezi první oddělovací zesilovač /3/ a uzel prvního regulačního odporu /6/ je zapojen detekční obvod /25/, přičemž výstup zesilovače /8/ s řízeným zesílením je připojen přímo na voltmetr /10/.

