

PATENTOVÝ SPIS

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLUVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2011-278**
(22) Přihlášeno: **12.05.2011**
(40) Zveřejněno: **25.04.2012**
(Věstník č. 17/2012)
(47) Uděleno: **14.03.2012**
(24) Oznámení o udělení ve Věstníku: **25.04.2012**
(Věstník č. 17/2012)

(11) Číslo dokumentu:

303 133

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.

H03B 5/38 (2006.01)

H03B 5/36 (2006.01)

H03B 5/04 (2006.01)

(56) Relevantní dokumenty:
CZ 301881 B; CZ 302141 B; WO 9800919 A.

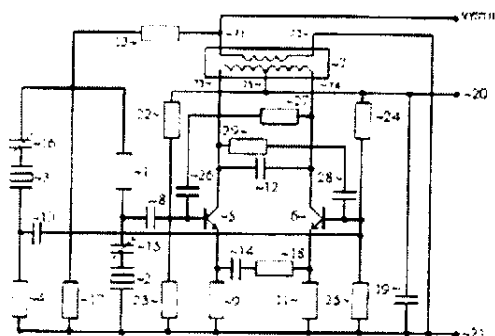
(73) Majitel patentu:
České vysoké učení technické - Fakulta elektrotechnická,
Praha 6, CZ

(72) Původce:
Papež Václav Doc. Ing. CSc., Praha 10, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, Chotutice, 28103

(54) Název vynálezu:
Můstkový krystalový symetrický oscilátor

(57) Anotace:
Krystalový oscilátor je proveden s nevyváženým můstkem Wheatstoneova typu se symetrickým zesilovačem s bipolárními tranzistory. První krystalový rezonátor (2) je doplněn prvním doladovacím kondenzátorem (15) a druhý krystalový rezonátor (3) je doplněn druhým doladovacím kondenzátorem (16), které umožňují přesné nastavení rezonančních frekvencí obou větví můstku na stejnou hodnotu, a to i v případě, že rezonanční frekvence krystalových rezonátorů (2, 3) samotných nejsou přesně stejné. Zesilovač, který tvoří spolu s můstkem oscilující smyčku s kladnou zpětnou vazbou je řešen jako rozdílový symetrický zesilovač. Zesilovač je unilaterizován křížovým zapojením dvou unilaterizačních dvojpolů tvořených v jednom případě prvním unilaterizačním rezistorem (27) a prvním unilaterizačním kondenzátorem (26) a ve druhém případě druhým unilaterizačním (29) a druhým unilaterizačním kondenzátorem (28) tak, aby byl minimalizován zpětný přenos zesilovače a vyloučen možný vliv změn zesílení zesilovače na oscilační kmitočet. Obvod pro řízení zesílení je tvořen napětově závislým děličem napětí, který je zapojen mezi asymetrický výstup symetrického zesilovače, první svorka (71) nesymetrického vinutí transformátoru a vstupní svorku můstku tvořenou bodem propojení prvního rezistoru (1), lineárního rezistoru (17) a druhého doladovacího kondenzátoru (16). Napětově závislým dělič napětí je tvořen napětově závislým rezistorem (13) a lineárním rezistorem (17). Vznusem hodnoty napětově závislého rezistoru při vzniku úrovně signálu dochází ke snížení přenosu děliče napětí a stabilizaci amplitudy kmitu.



CZ 303133 B6

Místkový krystalový symetrický oscilátor

Oblast techniky

Řešení se týká zařízení krystalového oscilátoru, který umožňuje dosáhnout vysokou stabilitu frekvence, nízkou úroveň fázového šumu a stabilní úroveň generovaného signálu a je po obvodové i konstrukční stránce poměrně jednoduchý a lze jej realizovat s použitím přibližně 30 součástek.

Dosavadní stav techniky

Běžné konstrukce oscilátorů jsou tvořeny zesilovačem, který je doplněn smyčkou kladné zpětné vazby, ve které je na pracovní frekvenci oscilátoru přenos roven reálnému číslu 1. Zpětnovazební obvod je obvykle tvořen pásmovou propustí, která je řešena tak, že zesílení zesilovače právě kompenzuje útlum zpětnovazebního obvodu, fázový posuv zpětnovazebního obvodu kompenzuje fázový posuv zesilovače.

Velmi časté konstrukce oscilátorů vycházejí z principiálních zapojení s Π článkem nebo přemostěným T článkem ve zpětnovazebním obvodu. Krystalový oscilátor s Π článkem ve zpětnovazebním obvodu má na vstupu a výstupu Π článku zapojen kondenzátor, v podélné větvi Π článku je zapojen krystalový rezonátor. Podle parametrů v obvodu je u oscilátoru volen pracovní režim rezonátoru.

Jsou-li reaktance kondenzátorů malé, srovnatelné s ekvivalentním sériovým odporem rezonátoru, odpovídá oscilátor modifikaci Clappově (Gouriet-Clappově). Do série s krystalovým rezonátorem je zařazen navíc další kondenzátor, krystalový rezonátor pracuje v okolí své sériové rezonance s indukční složkou reaktance. Zapojení oscilátoru je jednoduché. Toto zapojení je obvykle užíváno pokud má být realizován oscilátor běžné kvality s diskrétním aktivním prvkem, tedy tranzistorem, či tranzistorem řízeným polem, s krystalovým rezonátorem řezu AT a v oblasti frekvencí cca. 0,5 až 30 MHz.

Jsou-li reaktance kondenzátorů velké, odpovídá oscilátor modifikaci Pierceově, krystalový rezonátor pracuje opět s indukční složkou reaktance blíže k paralelní rezonanci. V jednoduchém zapojení s tranzistorem jsou tyto oscilátory používány jako oscilátory s krystalovými rezonátory řezu SC (Stress Compensated), pro které je v tomto zapojení snazší vytvořit doplňkové selektivní obvody pro potlačení nežádoucích vidů kmitů (vidy B a C). Dále je toto zapojení velmi často užíváno ve všech případech, kdy aktivním prvkem oscilátoru je integrovaný zesilovač, operační zesilovač, logický obvod. V této modifikaci je zde snáze možné nastavit vstupní a výstupní impedance Π článku na vyšší hodnoty vyhovující integrovaným obvodům a zejména obvodům s velmi malou spotřebou.

Krystalový oscilátor s přemostěným T článkem ve zpětnovazebním obvodu má na vstupu a výstupu T článku směrem k uzlu zapojeny kondenzátory, od uzlu k zemi je zapojen krystalový rezonátor a v podélné větvi jako přemostňující prvek je zapojena indukčnost. Oscilátor lze popsat též jako modifikaci Butlerova oscilátoru, což je zesilovač s krystalovým rezonátorem v emitrovém obvodu tranzistoru a s obvodem kladné zpětné vazby s rezonančním obvodem s rozdělnou kapacitou. Zapojení je užíváno zejména tam, kde je třeba dalším kmitočtově selektivním obvodem vybrat pracovní frekvenci oscilátoru z množství rezonančních frekvencí krystalového rezonátoru, například má-li oscilátor kmitat na harmonické frekvenci krystalového rezonátoru.

Popsaná zapojení ale nedávají dobré výsledky tam, kde jsou na oscilátor kladeny vysoké nároky. U oscilátoru nezajišťují ani vysokou stabilitu frekvence, ani minimální generovaný šum, ani sta-

bilitu amplitudy generovaného signálu. Všechny tyto jevy spolu vzájemně souvisí, i když nejvíce bývá sledována oblast stability frekvence.

5 Frekvence kmitů oscilátoru je v první řadě ovlivňována teplotními změnami rezonanční frekvence rezonátoru a teplotními změnami hodnot všech součástek použitých v řetězci zpětné vazby oscilátoru. Další změny frekvence jsou způsobeny změnou fázového posunu zesilovače a její kompenzací kmitočtovou závislostí fázového posunu řetězce zpětné vazby. Změny fázového posunu zesilovače způsobuje jeho nelinearita, respektive amplitudová závislost komplexní přenosové funkce zesilovače, ke které dochází vlivem nelinearity aktivního prvku. U jednoduchých 10 oscilátorů přitom musí být použit nelineární aktivní prvek, protože nelinearitou je řízena amplituda kmitů oscilátoru buď přímo poklesem zesílení zesilovače při velké úrovni signálu, nebo přemísťováním pracovního bodu aktivního prvku po jeho statické charakteristice tak, aby se pro velkou úroveň signálu dostával pracovní bod do oblasti, kde má aktivní prvek menší zesílení. To ale vždy znamená harmonické zkreslení zpracovávaného signálu, změnu zesílení i fázového posuvu přenášeného signálu. 15

Fázový šum oscilátoru je na spektru signálu oscilátoru patrný jako šumový náhodný signál v okolí pracovní frekvence. Šum je způsoben šumem všech součástek v oscilátoru, z nichž největší vliv má šum aktivního prvku, zejména jeho proudový $1/f$ šum. Pokud je aktivní prvek jakkoli nelineární, dochází ke konverzi $1/f$ šumu na fázový šum, který je patrný ve spektru v okolí pracovní 20 frekvence oscilátoru. U jednoduchých oscilátorů není tato problematika prakticky vůbec řešena. Aktivní prvky pracují s vysokou nelinearitou, někdy téměř ve spínacím režimu, obvod oscilátoru není řešen s ohledem na minimalizaci šumu aktivního prvku. Fázový šum těchto oscilátorů je proto poměrně velký, ve vzdálenosti několik set Hz od pracovní frekvence převyšuje úroveň tepelného šumu o 60 až 100 dB. 25

Krystalový oscilátor, který je řešen s ohledem na zachování lineárního provozu použitého zesilovače, je oscilátor Meachamův. V Meachamově můstkovém oscilátoru je krystalový rezonátor 30 zapojen ve Wheatstoneovu můstku, kde nahrazuje jeden rezistor. Můstek je zapojen, obvykle pomocí dvou transformátorů, jako zpětnovazební obvod mezi vstup a výstup lineárního zesilovače. Zapojení můstku a jeho vyvážení jsou voleny tak, aby na rezonanční frekvenci rezonátoru byl můstek mírně nevyvážen a přenos můstku z výstupu zesilovače na vstup přes můstek způsoboval kladnou zpětnou vazbu. Mimo rezonanční frekvence rezonátoru a úzkého pásma frekvencí okolo ní je zpětná vazba způsobená přenosem nevyváženého můstku záporná. Můstkový obvod způsobuje, že oscilační kmitočet je méně ovlivňován změnami parametrů obvodů vně mostu. Potlačení 35 těchto vlivů roste s nárůstem zesílení zesilovače, který způsobuje možnost nastavení funkce oscilátoru blíže ke stavu vyvážení můstku. Můstkový obvod lze chápat též jako násobič Q , který zvětšuje efektivní činitel jakosti rezonátoru úměrně zesílení zesilovače. Náhradou jednoho rezistoru v můstku nelineárním rezistorem, jehož odpor je závislý na přiváděném napětí, je provedena stabilizace amplitudy kmitů oscilátoru. Nelineární odpor je v můstku zapojen tak, aby na frekvenci odpovídající rezonanční frekvenci rezonátoru při nárůstu napětí docházelo ke změně nastavení můstku blíže ke stavu vyváženému. Změnou odporu nelineárního rezistoru potom dojde k nastavení nevyvážení můstku přesně na hodnotu odpovídající zesílení zesilovače a zesilovač 40 může pracovat v lineárním režimu s minimálním zkreslením.

45 Přestože Meachamův oscilátor má výrazně lepší vlastnosti než výše uvedené jednoduché oscilátory, není často používán. Pro aplikace, kde jsou na oscilátor kladeny maximální nároky, není užíván. Protože můstek pracuje ne zcela přesně ve vyváženém stavu, ale pouze v režimu, který je vyváženému stavu blízko, není u oscilátoru zcela vyloučen vliv fázového posuvu aktivního prvku na kmitočet. Můstek působí nepříznivě i na zatížení krystalu, protože výkon ztrácející se v krystalovém rezonátoru je obvykle řádově větší, než výkon, který se dostává na vstup zesilovače. Další nevýhodou je i složitost můstkového obvodu spolu s obvody, které je umožňují připojit a přizpůsobit k zesilovači. Obvod obsahuje dva transformátory a velmi snadno v něm mohou vzniknout oscilace na kmitočtu odlišném od rezonančního kmitočtu rezonátoru a obtížně lze i potlačovat nežádoucí mody oscilací krystalových rezonátorů. 55

Můstkový krystalový symetrický oscilátor, CZ 301881, využívá jako selektivní obvod symetrický Wheatstoneův můstek se dvěma krystaly a symetrickým zesilovačem. K jeho diagonále jsou připojeny vstupy symetrického zesilovače, výstup zesilovače je řešen symetrizačním transformátorem, z jehož asymetrického výstupu je napájena druhá diagonála můstku. Zesilovač je řešen specificky jako velmi přesně symetrický zesilovač. To je výhodné, předpokládá-li se v zesilovači použití aktivních prvků s kvadratickou převodní charakteristikou, např. tranzistorů J-FET. V symetrickém zapojení je dobře kompenzována nelinearita jejich charakteristiky a významně je sníženo nelineární zkreslení signálu přenášeného zesilovačem při řízení zesilovače bez ohledu na to, zda k řízení je použit nelineární rezistor, který je řízen přímo přiloženým výkonem signálu, nebo je k řízení použita řídicí smyčka, která ovládá zesílení zesilovače změnou pracovního bodu aktivních prvků podle úrovně signálu v zesilovači.

Symetrický můstek umožňuje ve srovnání s můstkem s jedním rezonátorem pro stejné zesílení zesilovače přibližně dvojnásobné zvýšení fiktivního činitele jakosti rezonátoru. Pro dosažení shodného výstupního napětí můstku a shodného fiktivního činitele jakosti rezonátoru je v můstku se dvěma rezonátory na rezonátory přiloženo poloviční napětí a rezonátory jsou zatíženy čtvrtinovým ztrátovým výkonem. Při stejném zatížení krystalových rezonátorů lze dále dosáhnout na vstupu zesilovače vyšší poměr signál/šum než při použití můstku s jedním krystalem a můstkový symetrický oscilátor s můstkem se dvěma krystaly má v okolí generovaného signálu nižší úroveň fázového šumu a šířka šumového spektra je menší.

Další variantou krystalového oscilátoru jsou můstkové oscilátory s vyváženým můstkem. Nejstarší z nich je můstkový oscilátor ovládaný pomocí servoregulátoru popsáný v dokumentu T. A. Pendleton, A System for Precision Frequency Control of a 100 kc. Oscillator by Means of a Quartz-Crystal Resonator, M. S. Thesis, Univ. Of Maryland, May 1953

Tento oscilátor je již složitě zařízení obsahující napětím řízený krystalový oscilátor, modulační oscilátor, VF modulátor a synchronní usměrňovač, můstek s krystalovým rezonátorem a servoregulátor pro řízení frekvence napětím řízeného krystalového oscilátoru. Signál procházející můstkem s krystalovým rezonátorem při nevyvážení řídí regulační smyčku napětím řízeného krystalového oscilátoru, takže oscilátor nastavuje na frekvenci, na které je můstek vyvážen. Oscilátor může pracovat s minimální odchylkou můstku od vyváženého stavu, jejíž velikost je omezena jen zesílením v regulační smyčce. Nevýhodou je jeho složitost, nutnost použití další modulační frekvence a použití dvou krystalových rezonátorů.

Dalším podobným systémem je vysoce stabilní oscilátor s vyváženým můstkem popsáný v dokumentu P. G. Sulzer, „High Stability Bridge Balancing Oscillator“, Proc. IRE, June 1955, pp. 701 až 707. Principiálně je tento systém shodný s můstkovým oscilátorem ovládaným pomocí servoregulátoru. Modifikovaná konstrukce umožňuje řešení můstku i napětím řízeného krystalového oscilátoru s jediným krystalem.

Poslední z těchto konstrukcí je oscilátor řízený vyváženým můstkem popsáný v dokumentu R. K. Karlquist, „Bridge-stabilized oscillator circuit and method,“ patent US 5 708 394, Jan. 13, 1998. Konstrukce systému vychází z obvodu propustného krystalového můstku což jest poloviční můstek se symetrizačním transformátorem s uzemněným středem symetrického vinutí, ve kterém je krystalový rezonátor v rezonanci pomocí symetrizačního vinutí vyvažován ohmickým odporem. Můstek má ve vyváženém stavu ze strany krystalového rezonátoru na sekundární vinutí transformátoru nulový přenos. Vstupní impedance můstku na straně krystalového rezonátoru je ekvivalentní impedanci krystalového rezonátoru s polovičním činitelem jakosti. Můstek je z této strany buzen řídicím oscilátorem systému, což jest oscilátor s přemostěným T článkem, který je doplněn obvodem pro řízení frekvence a stabilizaci úrovně signálu. Smyčka automatického řízení frekvence je řízena výstupním signálem krystalového můstku, který je zesilován VF zesilovačem a usměrňován synchronním detektorem. Stejnoseměrným napětím po integraci je řízena frekvence

budicího oscilátoru. Zároveň je smyčkou řízení amplitudy nastavováno zesílení v obvodu oscilátoru na konstantní úroveň signálu na vstupní bráně krystalového můstku.

Oscilátor může podle publikovaných údajů poskytnout vynikající výsledky: oscilátor 10 MHz má stabilitu frekvence řádu $10^{-10}/^{\circ}\text{C}$, úroveň fázového šumu -150 až -160 dBc/Hz ve vzdálenosti větší než 100 Hz od nosné. Přesto oscilátor není používaným zařízením. Příčinou je jeho složitost, obsahuje mnoho desítek součástek, obtížnost konstrukce nejen vlastního oscilátoru, ale i všech regulačních smyček, a pravděpodobně i nespolehlivost zařízení. Velké množství součástek produkuje i vyšší šumový výkon, který se projevuje zvýšením fázového šumu i šumového pozadí na signálu oscilátoru.

Podstata vynálezu

Výše uvedené nevýhody odstraňuje můstkový krystalový symetrický oscilátor podle předkládaného řešení.

Základem můstkového krystalového oscilátoru je Wheatstoneův můstek zapojený ve zpětno-
 zební smyčce mezi vstup a výstup symetrického zesilovače. Tento můstkový krystalový oscilátor
 obsahuje obvod pro řízení zesílení. Wheatstoneův můstek má ve dvou protilehlých větvích zapo-
 jen první a druhý rezistor. Druhé dvě větve obsahují protilehle zapojený první a druhý krystalový
 rezonátor. Společný uzel větví s prvním krystalovým rezonátorem a druhým rezistorem je spojen
 se zemní svorkou. Společný uzel zbývajících dvou větví je propojen s první svorkou nesymetric-
 kého vinutí symetrizačního transformátoru, jehož druhá svorka je propojena se zemní svorkou.
 K diagonále Wheatstoneova můstku, a to ke společnému uzlu větví s prvním rezistorem
 a s prvním krystalovým rezonátorem, a ke společnému uzlu větví s druhým rezistorem a druhým
 krystalovým rezonátorem, který má shodný rezonanční kmitočet jako první krystalový rezonátor,
 jsou připojeny přes první a druhý oddělovací kondenzátor vstupy symetrického zesilovače.
 Symetrický zesilovač je tvořen prvním a druhým bipolárním tranzistorem s první a druhou impe-
 dancí zapojenou mezi příslušný emitor a zemní svorku a s třetím oddělovacím kondenzátorem
 mezi emitory. Mezi kolektory je pak zapojen doladovací kondenzátor, jehož konce jsou zároveň
 připojeny mezi první a druhou svorku symetrického vinutí symetrizačního transformátoru. První
 svorka symetrického vinutí symetrizačního transformátoru má stejnou fázi signálu jako je na
 první svorce nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru. Druhá svorka symetrického
 vinutí symetrizačního transformátoru má opačnou fázi signálu než je na první svorce jeho nesym-
 metrického vinutí. Střední svorka symetrického vinutí je propojena se svorkou přívodu napájecí-
 ho napětí, která je propojena se zemní svorkou přes první blokovací kondenzátor.

Podstatou nového řešení je, že ve větvi Wheatstoneova můstku s prvním krystalovým rezonáto-
 rem je v sérii s ním zapojen první doladovací kondenzátor a ve větvi s druhým krystalovým rezo-
 náto-rem je v sérii s ním zapojen druhý doladovací kondenzátor. Obvod pro řízení zesílení je
 tvořen jednak lineárním rezistorem, který je zapojen jedním koncem ke společnému uzlu větve
 s prvním krystalovým rezonátorem a větve s druhým rezistorem a druhým koncem ke společné-
 mu uzlu větve s druhým krystalovým rezonátorem a větve s prvním rezistorem, a jednak napěťo-
 vě závislým nelineárním rezistorem. Tento napěťově závislý nelineární rezistor je připojen mezi
 druhý konec lineárního rezistoru a první svorku nesymetrického vinutí symetrizačního transfor-
 mátoru. Dále je mezi svorku pro přívod napájecího napětí a zemní svorku zapojen jednak první
 odporový dělič tvořený třetím a čtvrtým rezistorem, jejichž společná svorka je propojena s bází
 prvního tranzistoru, a jednak druhý odporový dělič tvořený pátým a šestým rezistorem, jejichž
 společná svorka je propojena s bází druhého tranzistoru.

Unilateralizace symetrického zesilovače je provedena křížovým zapojením unilateralizačních
 dvojpólů, které jsou tvořeny sériovým spojením rezistoru a kondenzátoru. Báze prvního tranzis-
 toru je přes první unilateralizační dvojpól tvořený prvním unilateralizačním kondenzátorem
 a prvním unilateralizačním rezistorem propojena s druhým vývodem symetrického vinutí trans-

formátoru, báze druhého tranzistoru je přes druhý unilateralizační dvojpól tvořený druhým unilateralizačním kondenzátorem a druhým unilateralizačním rezistorem propojena s prvním vývodem symetrického vinutí transformátoru.

- 5 Unilateralizace je volbou hodnot unilateralizačních kondenzátorů a rezistorů nastavena tak, aby byl dosažen minimální zpětný přenos zesilovače, protože tak je minimalizován i vliv možných změn zesílení zesilovače na frekvenci oscilátoru.

- 10 Je optimální, pokud jsou první a druhý krystalový rezonátor v můstku shodné a rovněž tak je shodný i první a druhý rezistor.

- 15 Uvedený můstkový krystalový symetrický oscilátor vychází z můstkového krystalového symetrického oscilátoru a ve srovnání s ním umožňuje další snížení úrovně fázového šumu v okolí jím generovaného signálu, zejména mají-li krystalové rezonátory v můstku malý efektivní sériový odpor v rezonanci. Doplněním obou krystalových rezonátorů sériovými doladovacími kondenzátory je umožněno přesné nastavení sériových rezonančních kmitočtů obou větví můstku, ve kterých jsou umístěny rezonátory, na stejnou hodnotu, i když rezonanční kmitočty samotných rezonátorů nejsou přesně shodné. Modifikace zesilovače použitím bipolárních tranzistorů jako aktivních prvků umožňuje dosáhnout lepší přizpůsobení vstupu zesilovače k malému vnitřnímu odporu můstku. Bipolární tranzistory vykazují i menší ekvivalentní napětovou úroveň šumu, zejména v oblasti nízkých frekvencí. Použití bipolárních tranzistorů dále vede k modifikaci principu řízení zesilovače odporovým děličem s napětově závislým odporem a zavedení unilateralizace aktivních prvků zesilovače.

25

Přehled obrázků na výkresech

Příklad provedení můstkového krystalového oscilátoru podle předkládaného řešení je uveden na příloženém výkrese.

30

Příklady provedení vynálezu

- 35 Konfigurace zařízení dle předkládaného řešení je tvořena Wheatstoneovým můstkem s prvním rezistorem 1 a druhým rezistorem 4, které jsou zapojeny v protilehlých větvích a prvním krystalovým rezonátorem 2 a druhým krystalovým rezonátorem 3, které jsou spolu se sériově zařazeným prvním doladovacím kondenzátorem 15 a druhým doladovacím kondenzátorem 16 zapojeny ve zbývajících protilehlých větvích. Dále zapojení obsahuje symetrický zesilovač s prvním tranzistorem 5 a s druhým tranzistorem 6 a se symetrizačním transformátorem 7. Wheatstoneův můstek je v obvodu oscilátoru zapojen tak, že jedna svorka jeho vstupní diagonály je uzemněna, kdy na zemní svorku 21 jsou prvními svorkami připojeny první krystalový rezonátor 2 a druhý rezistor 4. Ke druhé svorce prvního krystalového rezonátoru 2 je první svorkou připojen první doladovací kondenzátor 15, k jehož druhé svorce a druhé svorce druhého rezistoru 4 jsou svými prvními svorkami připojeny první rezistor 1 a druhý krystalový rezonátor 3, sériově propojený s druhým doladovacím kondenzátorem 16. Společný uzel prvního rezistoru 1 a druhého doladovacího kondenzátoru 16 je připojen k prvnímu vývodu napětově závislého nelineárního rezistoru 13, který vykazuje při nárůstu napětí nárůst odporu, a který je druhým vývodem připojen k první svorce 71 nesymetrického vinutí transformátoru 7, na které je stejná fáze signálu jako na první svorce 73 symetrického vinutí, která je připojena ke kolektoru prvního bipolárního tranzistoru 5.
- 40 Druhá svorka 72 nesymetrického vinutí transformátoru 7 je uzemněna, tedy je propojena se zemní svorkou 21. Mezi zemní svorku 21 a první vývod napětově závislého nelineárního rezistoru 13 je dále zapojen lineární rezistor 17. K diagonále Wheatstoneova můstku, k uzlu mezi prvním rezistorem 1 a prvním doladovacím kondenzátorem 15 a uzlu mezi druhým rezistorem 4 a druhým krystalovým rezonátorem 3 jsou připojeny vstupy symetrického zesilovače. K uzlu mezi prvním rezistorem 1 a prvním doladovacím kondenzátorem 15 je první svorkou připojen
- 45
- 50
- 55

první oddělovací kondenzátor 8, k jehož druhé svorce je připojen bázi první bipolární tranzistor 5. K uzlu mezi druhým rezistorem 4 a druhým krystalovým rezonátorem 3 je první svorkou připojen druhý oddělovací kondenzátor 10, k jehož druhé svorce je připojen bázi druhý bipolární tranzistor 6. Emitor prvního bipolárního tranzistoru 5 je přes první impedanci 9, jejíž velikost je několik set Ohmů, propojen se zemní svorkou 21 zařízení. Emitor druhého bipolárního tranzistoru 6 je přes druhou impedanci 11, jejíž velikost je několik set Ohmů, rovněž propojen se zemní svorkou 21 zařízení. Mezi emitory prvního bipolárního tranzistoru 5 a druhého bipolárního tranzistoru 6 je zapojena sériová kombinace třetího oddělovacího kondenzátoru 14 a zpětnovazební impedance 18, tvořené například rezistorem. Kolektory prvního bipolárního tranzistoru 5 a druhého bipolárního tranzistoru 6 jsou propojeny s první svorkou 73 a s druhou svorkou 74 symetrického vinutí transformátoru 7, mezi kterými je dále zapojen třetí doladovací kondenzátor 12, který doladuje toto vinutí do rezonance na pracovní frekvenci oscilátoru. Střední svorka 75 symetrizačního vinutí 7 je propojena se svorkou 20 pro přívod napájecího napětí, která je se zemní svorkou 21 propojena přes blokovací kondenzátor 19. Mezi svorku 20 pro přívod napájecího napětí a zemní svorku 21 je dále zapojen první odporový dělič tvořený třetím rezistorem 22 a čtvrtým rezistorem 23, jejichž společná svorka, na které je napětí odpovídající svou velikostí napětí báze prvního bipolárního tranzistoru 5 ve zvoleném pracovním bodě, je propojena s bázi tohoto prvního bipolárního tranzistoru 5. Analogicky mezi svorku 20 pro přívod napájecího napětí a zemní svorku 21 je dále zapojen druhý odporový dělič tvořený pátým rezistorem 24 a šestým rezistorem 25, jejichž společná svorka, na které je napětí odpovídající svou velikostí napětí báze druhého bipolárního tranzistoru 6 ve zvoleném pracovním bodě, je propojena s bázi tohoto druhého bipolárního tranzistoru 6. Unilateralizační obvod zesilovače je realizován prvním unilateralizačním dvojípolem, který je tvořen sériovým spojením prvního unilateralizačního kondenzátoru 26 a prvního unilateralizačního rezistoru 27, které jsou propojeny mezi bázi prvního bipolárního tranzistoru 5 a kolektor druhého bipolárního tranzistoru 6, a druhým unilateralizačním dvojípolem, který je tvořen sériovým spojením druhého unilateralizačního kondenzátoru 28 a druhého unilateralizačního rezistoru 29, které jsou propojeny mezi bázi druhého bipolárního tranzistoru 6 a kolektor prvního bipolárního tranzistoru 5.

V provozu zařízení je signál z nesymetrického vinutí transformátoru 7 přiváděn přes napěťový závislý dělič, tvořený napěťově závislým nelineárním rezistorem 13 a lineárním rezistorem 17, na vstupní diagonálu Wheatstoneova můstku do uzlu mezi první rezistor 1 a větev s druhým krystalovým rezonátorem 3. Můstek pracuje jako selektivní obvod a jeho přenosová funkce určuje pracovní frekvenci oscilátoru. Výstupní signál je odebrán z druhé diagonály můstku. Je optimální, pokud jsou první krystalový rezonátor 2 a druhý krystalový rezonátor 3 v můstku shodné a rovněž tak i první rezistor 1 a druhý rezistor 4 v můstku jsou shodné. Odpor prvního rezistoru 1 a druhého rezistoru 4 mírně převyšuje hodnotu efektivního sériového odporu prvního krystalového rezonátoru 2 a druhého krystalového rezonátoru 3 na rezonančním kmitočtu. V důsledku toho je napětí mezi uzlem vytvořeným mezi větví s druhým krystalovým rezonátorem 3 a větví s druhým rezistorem 4 a uzlem mezi větví s prvním krystalovým rezonátorem 2 a větví s prvním rezistorem 1 ve fázi s napětím přiváděným na můstek a hodnota tohoto napětí je maximální právě jen pro signál, jehož frekvence je rovna sériové rezonanční frekvenci obou větví můstku, ve kterých jsou umístěny krystalové rezonátory 2 a 3. Výstupní signál z můstku je dále veden přes první oddělovací kondenzátor 8 na bázi prvního bipolárního tranzistoru 5 a přes druhý oddělovací kondenzátor 10 na bázi druhého bipolárního tranzistoru 6. První bipolární tranzistor 5 a druhý bipolární tranzistor 6 pracují společně se symetrizačním transformátorem 7 jako symetrický diferenciální zesilovač. Výstupním signálem zesilovače je zesílené rozdílové napětí mezi bázemi prvního bipolárního tranzistoru 5 a druhého bipolárního tranzistoru 6 a soufázová napětí, která se společně na jejich bázích vyskytují, mají na výstupní signál zesilovače vliv minimální. Výstupní signál je odebrán z nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru 7, které je propojeno se vstupní diagonálou Wheatstoneova můstku. Tím je vytvořena zpětnovazební smyčka, ve které na shodném rezonančním kmitočtu větví můstku, ve kterých jsou umístěny první krystalový rezonátor 2 a druhý krystalový rezonátor 3, a který je velmi blízký rezonančnímu kmitočtu nebo kmitočtům obou krystalových oscilátorů 2 a 3 vzniká kladná zpětná vazba a při nastavení přenosu ve smyčce na jednotkovou hodnotu je stabilně generován požadovaný signál. Nastavení tohoto kmi-

točtu ve větvi s prvním krystalovým rezonátorem 2 se provede prvním doladovacím kondenzátorem 15 a ve větvi s druhým krystalovým rezonátorem 3 je provedeno druhým doladovacím kondenzátorem 16.

5 K zajištění stability úrovně i frekvence generovaného signálu slouží napěťově závislý dělič tvořený napěťově závislým nelineárním rezistorem 13, který vykazuje při nárůstu napětí nárůst odporu a pracuje tak, že hodnota odporu je závislá na efektivní hodnotě přivedeného střídavého napětí, ale zůstává konstantní během periody, a lineárním rezistorem 17. Nárůstem hodnoty napěťového závislého nelineárního rezistoru 13 při vzrůstu úrovně zpracovávaného signálu dochází ke
10 snížení přenosu napěťově závislého děliče napětí. Tak je celkové zesílení ve zpětnovazební smyčce tvořené symetrickým zesilovačem, Wheatstoneovým můstkem a napěťově závislým děličem napětí automaticky nastavováno na jednotkovou hodnotu a úroveň generovaného signálu je stabilní, bez případných nárůstů nebo poklesů.

15 Pracovní body prvního bipolárního tranzistoru 5 a druhého bipolárního tranzistoru 6 jsou nastaveny odporovými děliči ze dvou rezistorů, které jsou připojeny mezi svorku 20 pro přívod napájecího napětí a zemní svorku 21 a jejichž společná svorka je propojena sází příslušného bipolárního tranzistoru. První odporový dělič tvořený třetím rezistorem 22 a čtvrtým rezistorem 23, je propojen sází prvního bipolárního tranzistoru 5, druhý odporový dělič tvořený pátým rezistorem 24 a šestým rezistorem 25, je propojen sází druhého bipolárního tranzistoru 6.

Unilateralizace je volbou hodnot prvního unilateralizačního kondenzátoru 26 a druhého unilateralizačního kondenzátoru 28 a prvního unilateralizačního rezistoru 27 a druhého unilateralizačního rezistoru 29 nastavena tak, aby na bází prvního bipolárního tranzistoru 5 byl z výstupního obvodu zesilovače přiváděn stejně velký proud a v opačné fázi, jako je na bází prvního bipolárního tranzistoru 5 z výstupního obvodu přiváděn přes vnitřní zpětnovazební impedanci mezi bází a kolektorem prvního bipolárního tranzistoru 5, a aby na bází druhého bipolárního tranzistoru 6 byl z výstupního obvodu zesilovače přiváděn stejně velký proud a v opačné fázi, jako je na bází druhého bipolárního tranzistoru 6 z výstupního obvodu přiváděn přes vnitřní zpětnovazební impedanci mezi bází a kolektorem druhého bipolárního tranzistoru 6. Tak je potlačen zpětný přenos zesilovače a je minimalizován i vliv možných změn zesílení zesilovače na frekvenci oscilátoru.
30

Průmyslová využitelnost

35 Zařízení podle předkládaného řešení je využitelné všude, kde je potřeba vyrobit vysokofrekvenční signál s konstantní frekvencí, pro kterou jsou k dispozici krystalové rezonátory a který má vykazovat vysokou spektrální čistotou a má být frekvenčně stabilní. Zařízení z hlediska spektrální čistoty signálu dává lepší výsledky než špičková publikovaná zařízení a je značně jednodušší a lacinější.
40

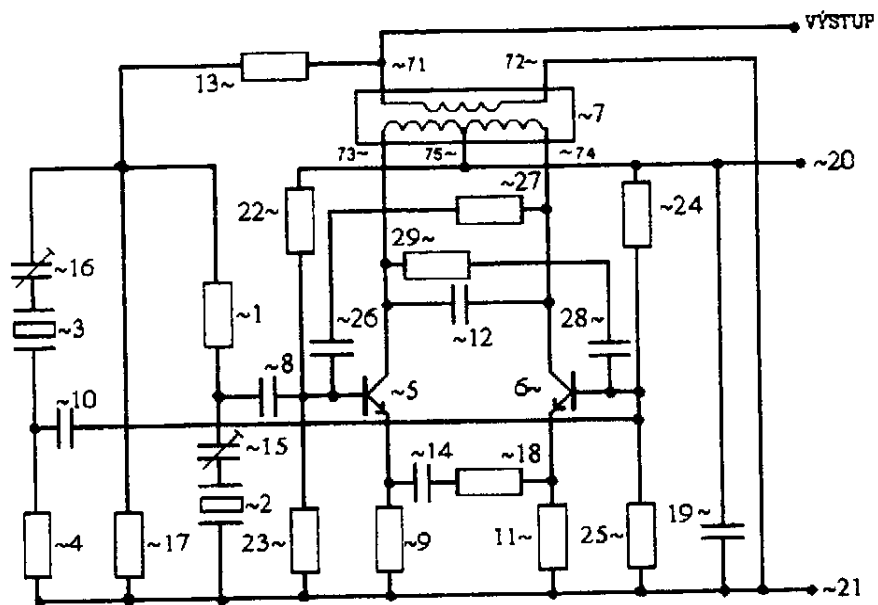
PATENTOVÉ NÁROKY

45 1. Můstkový krystalový oscilátor, jehož základem je Wheatstoneův můstek zapojený ve zpětnovazební smyčce mezi vstup a výstup symetrického zesilovače, kde tento můstkový krystalový oscilátor obsahuje obvod pro řízení zesílení a kde Wheatstoneův můstek má ve dvou protilehlých
50 větvích zapojen první rezistor (1) a druhý rezistor (4) a druhé dvě větve obsahují protilehle zapojený první krystalový rezonátor (2) a druhý krystalový rezonátor (3), kde společný uzel větvi s prvním krystalovým rezonátorem (2) a druhým rezistorem (4) je spojen se zemní svorkou (21) a společný uzel zbývajících dvou větví je propojen s první svorkou (71) nesymetrického vinutí
55 symetrizačního transformátoru (7), jehož druhá svorka (72) je propojena se zemní svorkou (21),

k diagonále Wheatstoneova můstku, a to ke společnému uzlu větvi s prvním rezistorem (1) a s prvním krystalovým rezonátorem (2) a ke společnému uzlu větvi s druhým rezistorem (4) a druhým krystalovým rezonátorem (3), který má shodný rezonanční kmitočet jako první krystalový rezonátor, jsou připojeny přes první oddělovací kondenzátor (8) a přes druhý oddělovací kondenzátor (10) vstupy symetrického zesilovače tvořeného prvním bipolárním tranzistorem (5) a druhým bipolárním tranzistorem (6) s první impedancí (9) a druhou impedancí (11) zapojenou mezi příslušný emitor a zemní svorku (21) a s třetím oddělovacím kondenzátorem (14) mezi emitory a majícími mezi kolektory zapojen dolad'ovací kondenzátor (12), jehož konce jsou zároveň připojeny mezi první a druhou svorku (73, 74) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7), kde první svorka (73) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) má stejnou fázi signálu jako je na první svorce (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) a druhá svorka (74) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) má opačnou fázi signálu než je na první svorce (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7), přičemž střední svorka (75) symetrického vinutí je propojena se svorkou (20) přívodu napájecího napětí, která je propojena se zemní svorkou (21) přes první blokovací kondenzátor (19), **vyznačující se tím**, že ve větvi Wheatstoneova můstku s prvním krystalovým rezonátorem (2) je v sérii s ním zapojen první dolad'ovací kondenzátor (15) a ve větvi s druhým krystalovým rezonátorem (3) je v sérii s ním zapojen druhý dolad'ovací kondenzátor (16), přičemž obvod pro řízení zesílení je tvořen jednak lineárním rezistorem (17), který je zapojen jedním koncem ke společnému uzlu větve s prvním krystalovým rezonátorem (2) a větve s druhým rezistorem (4) a druhým koncem ke společnému uzlu větve s druhým krystalovým rezonátorem (3) a větve s prvním rezistorem (1) a jednak napětově závislým nelineárním rezistorem (13), který je připojen mezi tento druhý konec lineárního rezistoru (17) a první svorku nesymetrického vinutí (71) symetrizačního transformátoru (7) a dále je mezi svorku (20) pro přívod napájecího napětí a zemní svorku (21) zapojen jednak první odporový dělič tvořený třetím rezistorem (22) a čtvrtým rezistorem (23), jejichž společná svorka je propojena s bází prvního tranzistoru (5) a jednak druhý odporový dělič tvořený pátým rezistorem (24) a šestým rezistorem (25), jejichž společná svorka je propojena s bází druhého tranzistoru (6), přičemž symetrický zesilovač je opatřen unilateralizačním obvodem, který je realizován prvním unilateralizačním dvojpólem tvořeným sériovým spojením prvního unilateralizačního kondenzátoru (26) a prvního unilateralizačního rezistoru (27) zapojeným mezi bází prvního tranzistoru (5) a kolektor druhého tranzistoru (6) a druhým unilateralizačním dvojpólem, který je tvořen sériovým spojením druhého unilateralizačního kondenzátoru (28) a druhého unilateralizačního rezistoru (29) zapojeným mezi bází druhého tranzistoru (6) a kolektor prvního tranzistoru (5) a obvodem záporné zpětné vazby, který je tvořen zpětnovazební impedancí (18), která je zapojena mezi třetí oddělovací kondenzátor (14) a emitor tranzistoru (6).

2. Můstkový krystalový oscilátor podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že první krystalový rezonátor (2) a druhý krystalový rezonátor (3) jsou shodné a rovněž tak je shodný první rezistor (1) a druhý rezistor (4).

1 výkres



Obt. 1

Konec dokumentu