

PŘIHLÁŠKA VYNÁLEZU

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

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLVÉHO
VLASTNICTVÍ

(22) Přihlášeno: **11.01.2010**

(40) Datum zveřejnění přihlášky vynálezu: **21.07.2010**
(Věstník č. 29/2010)

(21) Číslo dokumentu:

2010-18

(13) Druh dokumentu: **A3**

(51) Int. Cl.:

H03B 5/38 (2006.01)

H03B 5/36 (2006.01)

H03B 5/04 (2006.01)

(71) Přihlašovatel:

České vysoké učení technické v Praze Fakulta
elektrotechnická, Praha 6, CZ

(72) Původce:

Papež Václav Doc. Ing. CSc., Praha 10, CZ

(74) Zástupce:

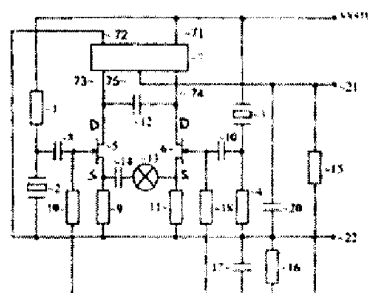
Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, Chotutice, 28103

(54) Název přihlášky vynálezu:

Můstkový krystalový symetrický oscilátor

(57) Anotace:

Krystalový oscilátor s nevyváženým můstkem Wheatstoneova typu je řešený s ohledem na minimální zkreslení a maximální odstup užitečného signálu od šumu se symetrickým můstkem a symetrickým zesilovačem. Můstek obsahuje dva shodné krystalové rezonátory a dva lineární rezistory. Zesilovač, který tvoří spolu s můstkem oscilující smyčku s kladnou zpětnou vazbou, je řešen jako rozdílový symetrický zesilovač, nejlépe osazený aktivními prvky s kvadratickou převodní charakteristikou. Aktivní prvek je tvořen J-FET tranzistorem (5, 6). Zátěž symetrického zesilovače je tvořena symetrizačním transformátorem (7) se symetrickým primárním vinutím a nesymetrickým sekundárním vinutím. Mezi vývody (73, 74) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) je zapojen doladovací kondenzátor (12). Střední vývod (75) symetrického vinutí je propojen na přívod napájecího napětí. Obvod pro řízení úrovně signálu je řešen buď jak obvod záporné zpětné vazby s napětově závislým rezistorem, kterým je nastavováno zesílení zesilovače nebo řídicí smyčkou, kterou je podle úrovně generovaného signálu nastavován klidový proud aktivních prvků na velikost odpovídající zesílení, pro které je generována požadovaná stabilní úroveň signálu.



Můstkový 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 20 součástek.

Dosavadní stav techniky

Běžné konstrukce elektronických oscilátorů vycházejí z použití aktivního prvku – elektronky, tranzistoru, integrovaného zesilovače, které lze po obvodové stránce popsat jako dvojbran který při vhodně volené zátěži umožňuje dosáhnout výkonové zesílení větší než 1. Oscilátor vzniká, doplníme-li zesilovač 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 se ekvivalentním seriovým 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 diskretním aktivním prvkem – tranzistorem, 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 přemosťující prvek je zapojena indukčnost. Oscilátor lze popsat též jako modifikaci Butlerova oscilátoru – zesilovač s krystalovým rezonátorem v emitorovém obvodu tranzistoru a s obvodem kladné zpětné vazby s rezonančním obvodem s rozdělenou kapacitou. Zapojení je užíváno zejména tam, kde je třeba dalším kmitočtově selektivním obvodem vybrat pracovní frekvenci oscilátoru z množství rezonančních frekvencí krystalového rezonátoru, např. 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 stabilitu amplitudy generovaného signálu. Všechny tyto jevy spolu vzájemně souvisí, i když nejvíce bývá sledována oblast stability frekvence.

Frekvence kmitů oscilátoru je kromě rezonanční frekvence rezonátoru s teplotním koeficientem řádu až 10^{-6} ovlivňována teplotními změnami jmenovitých hodnot všech součástek použitých v oscilátoru, které způsobují změnu komplexního přenosu řetězce zpětné vazby oscilátoru. Další změny frekvence jsou způsobeny změnou amplitudy kmitů, resp. změnou komplexní přenosové funkce zesilovače ke které přitom dochází vlivem nelinearity aktivního prvku. Tento jev má u výše uvedených jednoduchých oscilátorů většinou velký vliv. Amplituda kmitů u těchto oscilátorů je řízena právě nelinearitou aktivního prvku, poklesem zesílení 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, nejen změnu zesílení, ale i změnu fázového posuvu a změnu kmitočtu.

Fázový šum oscilátoru je na spektru signálu oscilátoru patrný jako šumový náhodný signál v okolí pracovní frekvence. Šum je způsoben tepelným 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 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.

Další variantou krystalového oscilátoru, která je řešena s ohledem na použití krystalového rezonátoru je oscilátor Meachamův. V Meachamově můstkovém oscilátoru je krystalový rezonátor zapojen ve Wheatstoneovu můstku, kde nahrazuje jeden rezistor. Můstek je zapojen, obvykle pomocí dvou transformátorů, jako zpětnovazební obvod mezi vstup a výstup 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 ni je zpětná vazba způsobená přenosem nevyváženého můstku

záporná. Můstkový obvod způsobuje, že oscilátor je méně ovlivňován změnami parametrů obvodů vně mostu, potlačení 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. Pro můstkový obvod jsou známy i další varianty umožňující stabilizaci amplitudy kmitů náhradou dalšího rezistoru v můstku nelineárním rezistorem, jehož odpor je závislý na přiváděném napětí. 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 může pracovat v lineárním režimu s minimálním zkreslením. 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 vlivem funkce můstku 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 obvodovými prvky, které jej umožňují připojit a přizpůsobit k zesilovači. Obvod obsahuje 2 transformátory a velmi snadno v něm mohou vzniknout oscilace na kmitočtu odlišném od rezonančního kmitočtu rezonátoru a obtížně lze i potlačovat nežádoucí módy oscilací krystalových rezonátorů.

Nejvíce propracovanými oscilátory s krystalovými rezonátory jsou můstkové oscilátory s vyváženým můstkem. Nejstarší z nich je můstkový oscilátor ovládaný pomocí servoregulátoru popsany Pendeltonem v r. 1953. Tento oscilátor je již složité 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, použití 2 krystalových rezonátorů.

Dalším podobným systémem je Vysoce stabilní oscilátor s vyváženým můstkem popsáný Sulzerem v r. 1955. Principiálně je tento systém shodný s můstkovým oscilátorem ovládaným pomocí servoregulátoru. Přestože modifikovaná konstrukce umožňuje řešení můstku i napětím řízeného krystalového oscilátoru s jediným krystalem a bylo prokázáno další zvýšení stability frekvence oscilátoru, krystalové oscilátory tímto způsobem konstruovány nebývají.

Poslední z těchto konstrukcí je oscilátor řízený vyváženým můstkem popsáný Karlquistem v r. 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 obvody pro řízení frekvence a stabilizaci úrovně signálu. Smyčka automatického řízení frekvence je řízena výstupním signálem krystalového můstku, který je zesilován VF zesilovačem, usměrňován synchronním detektorem a stejnosměrným napětím po integraci je řízena frekvence budícího oscilátoru. Zároveň je smyčkou řízení amplitudy nastavováno zesílení v obvodu oscilátoru na konstantní úroveň signálu na vstupní bráně krystalového můstku.

Aby oscilátor bezvýhradně pracoval ve vyváženém stavu můstku, je smyčka automatického řízení frekvence rozšířena vektorovým vyhodnocením signálu nevyvážení můstku. Tak lze rozlišit složku impedance, kterou je způsobeno nevyvážení můstku a při nevyvážení složkou imaginární je můstek vyvažován řízením frekvence a při nevyvážení složkou reálnou je nastavován vyvažovací odpor můstku pomocí PIN diody.

Oscilátor může podle publikovaných údajů poskytovat 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. Jeho základem je Wheatstoneův můstek zapojený ve zpětnovazební smyčce mezi vstup a výstup zesilovače, kde tento můstkový krystalový oscilátor obsahuje obvod pro řízení zesílení. Podstatou nového řešení je, Wheatstoneův můstek je tvořen prvním rezistorem, protilehle k němu zapojeným druhým rezistorem a prvním krystalovým rezonátorem a protilehle zapojeným druhým krystalovým rezonátorem. První svorky prvního krystalového rezonátoru a druhého rezistoru jsou spojeny se zemní svorkou a k jejich druhým svorkám jsou svými prvními svorkami připojeny první rezistor a druhý krystalový rezonátor. Jejich druhé svorky jsou připojeny k prvnímu vývodu nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru, jehož druhý vývod je propojen se zemní svorkou. K diagonále Wheatstoneova můstku, a to k uzlu mezi prvním rezistorem a prvním krystalovým rezonátorem a k uzlu mezi druhým rezistorem a druhým krystalovým rezonátorem jsou připojeny vstupy symetrického zesilovače. K uzlu mezi prvním rezistorem a prvním krystalovým rezonátorem je přes první oddělovací kondenzátor připojeno hradlo prvního J-FET tranzistoru. Svorka S prvního J-FET tranzistoru je přes první impedanci propojena se zemní svorkou a jeho svorka D je připojena k prvnímu vývodu symetrického vinutí symetrizačního transformátoru, které má stejnou fázi signálu jako je na prvním vývodu jeho nesymetrického vinutí. Analogicky je k uzlu mezi druhým rezistorem a druhým krystalovým rezonátorem přes druhý oddělovací kondenzátor připojeno hradlo druhého J-FET tranzistoru, jehož svorka S je přes

druhou impedanci propojena se zemní svorkou, svorka D je připojena k druhému vývodu symetrického vinutí symetrizačního transformátoru, který má opačnou fázi signálu než je na prvním vývodu jeho nesymetrického vinutí. Mezi svorkami S prvního a druhého J-FET tranzistoru je zapojena sériová kombinace třetího oddělovacího kondenzátoru a nelineárního rezistoru, který zde tvoří obvod řízení zesílení. Dále je mezi první a druhý vývod symetrického vinutí zapojen doladovací kondenzátor. Střední vývod symetrického vinutí je propojen se svorkou přívodu napájecího napětí, která je propojena se zemní svorkou přes první blokovací kondenzátor. Zároveň je mezi svorku přívodu napájecího napětí a zemní svorku zapojen odporový dělič tvořený třetím a čtvrtým rezistorem, mezi jejichž společný uzel a zemní svorku je zapojen druhý blokovací kondenzátor. Tento uzel je přes první oddělovací rezistor propojen s hradlem prvního J-FET tranzistoru a přes druhý oddělovací rezistor s hradlem druhého J-FET tranzistoru.

Ve druhém provedení je zapojení oscilátoru totožné, ale obvod pro řízení zesílení je tvořen vysokofrekvenčním usměrňovačem zapojeným vstupní svorkou na společný uzel prvního rezistoru, druhého krystalového rezonátoru a prvního vývodu nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru. Zemní svorka vysokofrekvenčního usměrňovače je spojena se zemní svorkou a jeho výstup je zatížen zatěžovacím rezistorem, který je připojen mezi zemní svorku a čtvrtý rezistor.

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

Výhodné je, jestliže první a druhá impedance mají reálnou složku řádu desítek Ohmů a imaginární složku několik kiloohmů.

Tento můstek umožňuje ve srovnání s běžným Wheatstonevým můstkem s jedním rezonátorem pro stejné zesílení zesilovače přibližně dvojnásobné zvýšení fiktivního činitele jakosti rezonátoru. To je výhodné, protože z hlediska malého šumu oscilátoru je třeba na vstupu zesilovače mít velký výkon signálu, aby byl zachován velký poměr signál/šum vzhledem k tepelnému šumu a šumu aktivního prvku a zároveň není možné přivádět na krystalové rezonátory libovolně velký výkon, vzhledem k jejich nelinearitě, ohřevu ztrátovým výkonem, možné změně parametrů.

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.

Můstek je v obvodu oscilátoru zapojen tak, že jedna svorka jeho vstupní diagonály je uzemněna. Výstupní signál na druhé diagonály můstku je napětí mezi jejími koncovými body a musí být zpracováváno jako napětí plovoucí vůči potenciálu země. K tomu byl u dřívějších konstrukcí používán oddělovací transformátor, oscilátor dle uvedeného řešení řeší problém použitím rozdílového zesilovače se dvěma rozdílovými vstupy s vysokým potlačením přenosu součtového signálu. To je výhodné zejména z hlediska odstranění selektivní přenosové funkce transformátoru, která velmi často způsobuje vznik parazitních oscilací na frekvencích různých od rezonanční frekvence krystalového rezonátoru.

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. To je výhodné z hlediska dosažení vyšší stability frekvence signálu generovaného oscilátorem i z hlediska většího odstupu fázového šumu ve spektru signálu.

Stabilizace úrovně signálu oscilátoru je prováděna řízením zesílení zesilovače, narozdíl od dřívějších řešení, kde k tomuto účelu byly používány nelineární rezistory v Wheatstoneově můstku. Tento způsob řízení zesílení ve smyčce oscilátoru je výhodný z hlediska dosažení vyšší stability frekvence signálu, protože změna parametrů obvodových prvků v můstku může způsobit nejen žádanou změnu reálné části komplexního přenosu, která vede k nastavení úrovně signálu, ale i změnu imaginární části komplexního přenosu, která vede k nežádoucí změně kmitočtu. U některých nelineárních rezistorů navíc nelze vyloučit ani přímou změnu imaginární části jejich impedance v závislosti na velikosti napětí na jejich svorkách, která opět způsobuje nežádoucí změnu kmitočtu.

Řízení zesílení zesilovače je možné v každém jeho symetrickém stupni provést více způsoby podle toho, 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 podle úrovně signálu například na výstupu zesilovače. V reálném řízeném zesilovači je nelineární rezistor, jehož odpor při rostoucí úrovni signálu též roste, zapojen mezi S elektrody J-FET tranzistorů v symetrickém stupni tak, aby na něj nemohlo být přivedeno stejnosměrné napětí. Při nárůstu napětí na odporu dochází k vzrůstu jeho reálné části impedance a poklesu zesílení zesilovače. Nelineární rezistor, jehož odpor při rostoucí úrovni signálu klesá je zapojen mezi D elektrody tranzistorů v symetrickém stupni tak, aby na něj nemohlo být přivedeno stejnosměrné napětí. Při nárůstu napětí na odporu dochází k poklesu jeho reálné části impedance, poklesu reálné části zatěžovací impedance zesilovače a poklesu zesílení zesilovače.

Řízení zesílení zesilovače vnějším řídicím signálem řídicí smyčkou je vhodné použít u zesilovače s aktivními prvky kvadratickou převodní charakteristikou, např. tranzistory J-FET. Nastavením klidového proudu symetrického zesilovače s těmito prvky lze v určitých mezích řídit zesílení zesilovače bez zvyšování nelineárního zkreslení přenášeného signálu. Řídicí signál smyčky je výstupní signál usměrňovače, který usměrňuje vzorek výstupního signálu oscilátoru. Řídicí signál je dále v obvodu smyčky filtrován a zesilován a je přiváděn do obvodu nastavení pracovního bodu aktivních prvků zesilovače. Zvýšení výstupního napětí zesilovače způsobuje pokles klidového proudu tranzistorů zesilovače a následně i pokles zesílení zesilovače.

Místo J-FET tranzistorů je možné použít bipolární tranzistory, kde elektrodě S odpovídají emitory, elektrodě D kolektory a hradlu báze.

Přehled obrázků na výkresech

Příklady provedení můstkového krystalového oscilátoru podle předkládaného řešení jsou uvedeny na obr.1 a 2. Provedení se liší realizací obvodu pro řízení zesílení.

Příklady provedení vynálezu

Jedna konfigurace zařízení dle předkládaného řešení, obr.1, 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 zapojeny ve zbývajících protilehlých větvích, dále pak symetrickým zesilovačem s prvním tranzistorem J-FET 5 a s druhým tranzistorem J-FET 6 a symetrizačním transformátorem 7. Wheatstoneův můstek je v obvodu oscilátoru zapojen tak, že jedna svorka jeho vstupní diagonály je uzemněna, kdy na zemní svorku 22 jsou prvními svorkami připojeny první krystalový rezonátor 2 a druhý rezistor 4. Ke druhým svorkám prvního krystalového rezonátoru 2 a druhého rezistoru 4 jsou svými prvními svorkami připojeny první rezistor 1 a druhý krystalový rezonátor 3, které jsou svými druhými svorkami připojeny k prvnímu vývodu 71 nesymetrického vinutí transformátoru 7, na kterém je stejná fáze signálu jako na prvním vývodu 73 symetrického vinutí, který je připojen k prvnímu J-FET tranzistoru 5. Druhý vývod 72 nesymetrického vinutí transformátoru 7 je uzemněn, tedy je propojen se zemní svorkou 22. K diagonále Wheatstoneova můstku, k uzlu mezi prvním rezistorem 1 a prvním krystalovým rezonátorem 2 a uzlu mezi druhým rezistorem 4 a druhým krystalovým rezonátorem 3 jsou připojeny vstupy symetrického zesilovače. K uzlu mezi prvním rezistorem 1 a prvním krystalovým rezonátorem 2 je první svorkou připojen první oddělovací kondenzátor 8, k jehož druhé svorce je připojen hradlem první J-FET 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 hradlem druhý J-FET tranzistor 6. Svorka 5 prvního J-FET tranzistoru 5 je přes první impedanci 9, která má reálnou složku řádu desítek Ohmů a imaginární složku několik kiloohmů, propojen se zemní svorkou 22 zařízení. Svorka 6 druhého J-FET tranzistoru 6 je přes druhou impedanci 11, která má reálnou složku řádu desítek Ohmů a imaginární složku několik kiloohmů, rovněž propojen se zemní svorkou 22 zařízení. Mezi svorkami 5 prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6 je zapojena sériová kombinace třetího oddělovacího kondenzátoru 14 a nelineárního rezistoru 13 takového typu, že jeho odpor při rostoucí úrovni signálu roste. Tento nelineární odpor 13 tvoří obvod pro řízení zesílení. Svorka D prvního J-FET tranzistoru 5 respektive druhého J-FET tranzistoru 6 je propojena s prvním vývodem 73 respektive s druhým

vývodem 74 symetrického vinutí transformátoru 7, mezi kterými je dále zapojen doladovací kondenzátor 12, který doladuje toto vinutí do rezonance na pracovní frekvenci oscilátoru. Střední vývod 75 symetrizačního vinutí 7 je propojen se svorkou 21 pro přívod napájecího napětí, která je se zemní svorkou 22 propojena přes první blokovací kondenzátor 20. Mezi svorku 21 pro přívod napájecího napětí a zemní svorku 22 je dále zapojen odporový dělič tvořený třetím rezistorem 15 a čtvrtým rezistorem 16. Mezi výstup děliče, kde je napětí odpovídající svou velikostí předpětí prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6, to je uzel mezi třetím rezistorem 15 a čtvrtým rezistorem 16 a zemní svorkou 22 je zapojen druhý blokovací kondenzátor 17, a dále uzel mezi třetím rezistorem 15 a čtvrtým rezistorem 16 je přes první oddělovací rezistor 19 a druhý oddělovací rezistor 19 propojen se svorkami G prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6, na které je předpětí z výstupu děliče takto přiváděno.

Konfigurace zařízení dle předkládaného řešení s řídicí smyčkou pro ovládání zesilovače, obr.2, je tvořena obdobně až na obvod pro řízení zesílení. Tento obvod pro řízení zesílení je tvořen vysokofrekvenčním usměrňovačem 24 zapojeným vstupní svorkou na společný uzel prvního rezistoru 1, druhého krystalového rezonátoru 3 a prvního vývodu 71 nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru 7. Zemní svorka vysokofrekvenčního usměrňovače 24 je spojena se zemní svorkou 22 a jeho výstup je zatížen zatěžovacím rezistorem 23, který je připojen mezi zemní svorku 22 a čtvrtý rezistor 16.

V provozu zařízení je signál z nesymetrického vinutí transformátoru 7 přiváděn na vstupní diagonálu Wheatstoneova můstku do uzlu mezi první rezistor 1 a druhý rezonátor 3. Můstek pracuje jako selektivní obvod a jeho přenosová funkce určuje pracovní frekvenci oscilátoru. Výstupní signál je odebírán 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 právě jen pro signál, jehož frekvence je rovna rezonanční frekvenci prvního krystalového rezonátoru 2 a druhého krystalového rezonátoru 3, napětí mezi uzlem vytvořeným

mezi druhým krystalovým rezonátorem 3 a druhým rezistorem 4 a uzlem mezi prvním krystalovým rezonátorem 2 a prvním rezistorem 1 ve fázi s napětím přiváděným na můstek a hodnota tohoto napětí je maximální. Výstupní signál z můstku je dále veden přes první oddělovací kondenzátor 8 na hradlo prvního J-FET tranzistoru 5 a přes druhý oddělovací kondenzátor 10 na hradlo druhého J-FET tranzistoru 6. První J-FET tranzistor 5 a druhý J-FET tranzistor 6 pracují společně se symetrizačním transformátorem 7 jako symetrický diferenciální zesilovač. Výstupním signálem zesilovače je zesílené rozdílové napětí mezi hradly prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6 a soufázová napětí, která se společně na jejich hradlech vyskytují, mají na výstupní signál zesilovače vliv minimální. Výstupní signál je odebírán z nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru 7, které je propojeno se vstupní diagonálou Wheatstoneova můstku. Tím je vytvořena zpětnovazební smyčka, ve které na kmitočtu velmi blízkém rezonančnímu kmitočtu prvního krystalového rezonátoru 2 a druhého krystalového rezonátoru 3 vzniká kladná zpětná vazba a při nastavení přenosu ve smyčce na jednotkovou hodnotu je stabilně generován požadovaný signál.

Pro zajištění stability úrovně i frekvence generovaného signálu je zařízení vybaveno stabilizačním obvodem.

V prvním případě je obvod pro řízení zesílení realizován napěťově závislým nelineárním rezistorem 13, který vykazuje při nárůstu napětí nárůst odporu a který je přes třetí oddělovací kondenzátor 14 zapojen mezi elektrody S prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6. Nelineární rezistor 13 snižuje zesílení zesilovače, nárůst vstupního napětí zesilovače způsobuje nárůst hodnoty odporu a tím i pokles zesílení zesilovače. Zesílení zesilovače je změnou hodnoty odporu nelineárního rezistoru 13 automaticky nastavováno na hodnotu, při které je celkové zesílení ve smyčce zpětné vazby jednotkové a úroveň generovaného signálu je stabilní, bez případných nárůstů nebo poklesů.

V druhém případě je obvod pro řízení zesílení realizován zpětnovazební smyčkou. Řídicí signál smyčky je generován vysokofrekvenčním usměrňovačem 24, který je propojen s výstupem zařízení a podle vzorku výstupního signálu generuje na výstupu záporné napětí, jehož velikost je přibližně úměrná úrovni výstupního signálu.

Toto napětí je přes odporový dělič tvořený třetím rezistorem 15 a čtvrtým rezistorem 16 a prvním oddělovacím rezistorem 19 a druhým oddělovacím rezistorem 18 přiváděno na hradla prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6. Pro nulové napětí na výstupu usměrňovače je děličem se třetím rezistorem 15 a čtvrtým rezistorem 16 nastaven klidový proud prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6 větší než je proud provozní a zesilovač má, vzhledem k převodní charakteristice těchto tranzistorů, i větší zesílení, než za provozu zařízení. Při provozu zařízení s výstupním signálem žádané úrovně má vysokofrekvenční usměrňovač 24 na svém výstupu záporné napětí, které po přivedení přes odporový dělič a přes první oddělovací rezistor 19 a druhý oddělovací rezistor 18 na hradla prvního J-FET tranzistoru 5 a druhého J-FET tranzistoru 6 způsobuje pokles jejich klidového proudu a tím i zesílení zesilovače na hodnotu při které je celkové zesílení ve smyčce zpětné vazby jednotkové a úroveň generovaného signálu je stabilní, bez případných nárůstů nebo poklesů.

Průmyslová využitelnost

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 čistotu má a být frekvenčně stabilní. Zařízení z hlediska spektrální čistoty signálu dává lepší výsledky než špičková publikovaná zařízení a je značně jednodušší a lacinější.

PATENTOVÉ NÁROKY

1. Můstkový krystalový oscilátor, jehož základem je Wheatstoneův můstek zapojený ve zpětnovazební smyčce mezi vstup a výstup zesilovače, kde tento můstkový krystalový oscilátor obsahuje obvod pro řízení zesílení, **vyznačující se tím, že** Wheatstoneův můstek je tvořen prvním rezistorem (1), protilehle k němu zapojeným druhým rezistorem (4) a prvním krystalovým rezonátorem (2) a protilehle zapojeným druhým krystalovým rezonátorem (3), kde první svorky prvního krystalového rezonátoru (2) a druhého rezistoru (4) jsou spojeny se zemní svorkou (22) a k jejich druhým svorkám jsou svými prvními svorkami připojeny první rezistor (1) a druhý krystalový rezonátor (3), jejich druhé svorky jsou připojeny k prvnímu vývodu (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7), jehož druhý vývod (72) je propojen se zemní svorkou (22), k diagonále Wheatstonova můstku, a to k uzlu mezi prvním rezistorem (1) a prvním krystalovým rezonátorem (2) a k uzlu mezi druhým rezistorem (4) a druhým krystalovým rezonátorem (3) jsou připojeny vstupy symetrického zesilovače, kdy k uzlu mezi prvním rezistorem (1) a prvním krystalovým rezonátorem (2) je přes první oddělovací kondenzátor (8) připojeno hradlo prvního J-FET tranzistoru (5), jehož svorka (S) je přes první impedanci (9) propojena se zemní svorkou (22) a jehož svorka (D) je připojena k prvnímu vývodu (73) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) majícího stejnou fázi signálu jako je na prvním vývodu (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) a k uzlu mezi druhým rezistorem (4) a druhým krystalovým rezonátorem (3) je přes druhý oddělovací kondenzátor (10) připojeno hradlo druhého J-FET tranzistoru (6), jehož svorka (S) je přes druhou impedanci (11) propojena se zemní svorkou (22) a jehož svorka (D) je připojena k druhému vývodu (74) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) majícího opačnou fázi signálu než je na prvním vývodu (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7), mezi svorkami (S) prvního J-FET tranzistoru (5) a druhého J-FET tranzistoru (6) je zapojena sériová kombinace třetího oddělovacího kondenzátoru (14) a nelineárního odporu (13), který tvoří obvod pro řízení zesílení, a dále je mezi první vývod (73) a druhý vývod (74) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7)

zapojen doladovací kondenzátor (12) a střední vývod (75) tohoto symetrického vinutí je propojen se svorkou (21) přívodu napájecího napětí, která je propojena se zemní svorkou (22) přes první blokovací kondenzátor (20) a zároveň je mezi svorku (21) přívodu napájecího napětí a zemní svorku (22) zapojen odporový dělič tvořený třetím rezistorem (15) a čtvrtým rezistorem (16) mezi jejichž společný uzel a zemní svorku (22) je zapojen druhý blokovací kondenzátor (17) a tento uzel je přes první oddělovací rezistor (19) propojen s hradlem prvního J-FET tranzistoru (5) a přes druhý oddělovací rezistor (18) s hradlem druhého J-FET tranzistoru (6).

2. Můstkový krystalový oscilátor, jehož základem je Wheatstoneův můstek zapojený ve zpětnovazební smyčce mezi vstup a výstup zesilovače, kde tento můstkový krystalový oscilátor obsahuje obvod pro řízení zesílení, **vyznačující se tím, že** Wheatstoneův můstek je tvořen prvním rezistorem (1), protilehle k němu zapojeným druhým rezistorem (4) a prvním krystalovým rezonátorem (2) a protilehle zapojeným druhým krystalovým rezonátorem (3), kde první svorky prvního krystalového rezonátoru (2) a druhého rezistoru (4) jsou spojeny se zemní svorkou (22) a k jejich druhým svorkám jsou svými prvními svorkami připojeny první rezistor (1) a druhý krystalový rezonátor (3), jejich druhé svorky jsou připojeny k prvnímu vývodu (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7), jehož druhý vývod (72) je propojen se zemní svorkou (22), k diagonále Wheatstoneova můstku, a to k uzlu mezi prvním rezistorem (1) a prvním krystalovým rezonátorem (2) a k uzlu mezi druhým rezistorem (4) a druhým krystalovým rezonátorem (3) jsou připojeny vstupy symetrického zesilovače, kdy k uzlu mezi prvním rezistorem (1) a prvním krystalovým rezonátorem (2) je přes první oddělovací kondenzátor (8) připojeno hradlo prvního J-FET tranzistoru (5), jehož svorka (S) je přes první impedanci (9) propojena se zemní svorkou (22) a jehož svorka (D) je připojena k prvnímu vývodu (73) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) majícího stejnou fázi signálu jako je na prvním vývodu (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) a k uzlu mezi druhým rezistorem (4) a druhým krystalovým rezonátorem (3) je přes druhý oddělovací kondenzátor (10) připojeno hradlo druhého J-FET tranzistoru (6), jehož svorka (S) je přes druhou impedanci (11) propojena se zemní svorkou (22) a jehož svorka (D) je připojena k druhému vývodu (74) symetrického vinutí symetrizačního

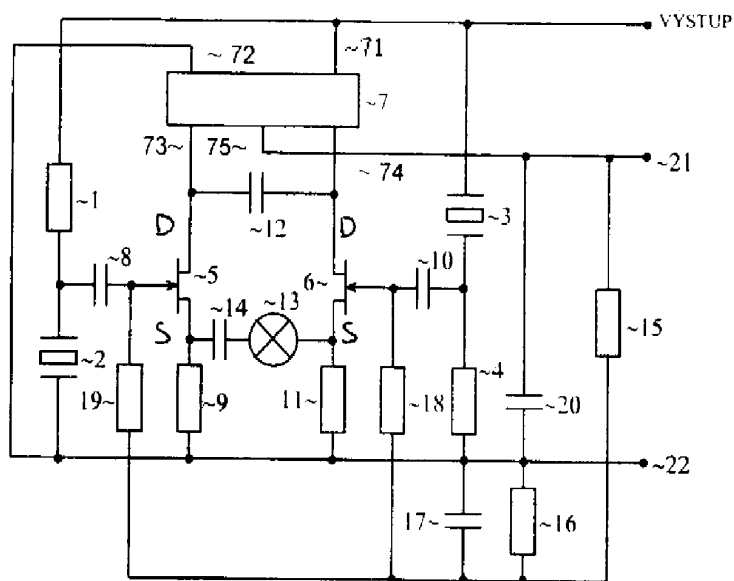
transformátoru (7) majícího opačnou fázi signálu než je na prvním vývodu (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7), mezi svorkami (S) prvního J-FET tranzistoru (5) a druhého J-FET tranzistoru (6) je zapojen třetí oddělovací kondenzátor (14) a dále je mezi první vývod (73) a druhý vývod (74) symetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7) zapojen dolaďovací kondenzátor (12) a střední vývod (75) tohoto symetrického vinutí je propojen se svorkou (21) přívodu napájecího napětí, která je propojena se zemní svorkou (22) přes první blokovací kondenzátor (20) a zároveň je mezi svorkou (21) přívodu napájecího napětí a zemní svorkou (22) zapojen odporový dělič tvořený třetím rezistorem (15) a čtvrtým rezistorem (16) mezi jejichž společný uzel a zemní svorku (22) je zapojen druhý blokovací kondenzátor (17) a tento uzel je přes první oddělovací rezistor (19) propojen s hradlem prvního J-FET tranzistoru (5) a přes druhý oddělovací rezistor (18) s hradlem druhého J-FET tranzistoru (6), přičemž obvod pro řízení zesílení je tvořen vysokofrekvenčním usměrňovačem (24) zapojeným vstupní svorkou na společný uzel prvního rezistoru (1), druhého krystalového rezonátoru (3) a prvního vývodu (71) nesymetrického vinutí symetrizačního transformátoru (7), kde zemní svorka vysokofrekvenčního usměrňovače (24) je spojena se zemní svorkou (22) a jeho výstup je zatížen zatěžovacím rezistorem (23), který je připojen mezi zemní svorku (22) a čtvrtý rezistor (16).

3. Můstkový krystalový oscilátor podle nároku 1 nebo 2 **vyznačující se tím, že** první krystalový rezonátor (2) a druhý krystalový rezonátor (3) v můstku jsou shodné, první rezistor (1) a druhý rezistor (4) v můstku jsou též shodné.
4. Můstkový krystalový oscilátor podle nároku 1 nebo 2 a nároku 3, **vyznačující se tím, že** první impedance (9) a druhá impedance (11) mají reálnou složku řádu desítek Ohmů a imaginární složku několik kiloohmů.

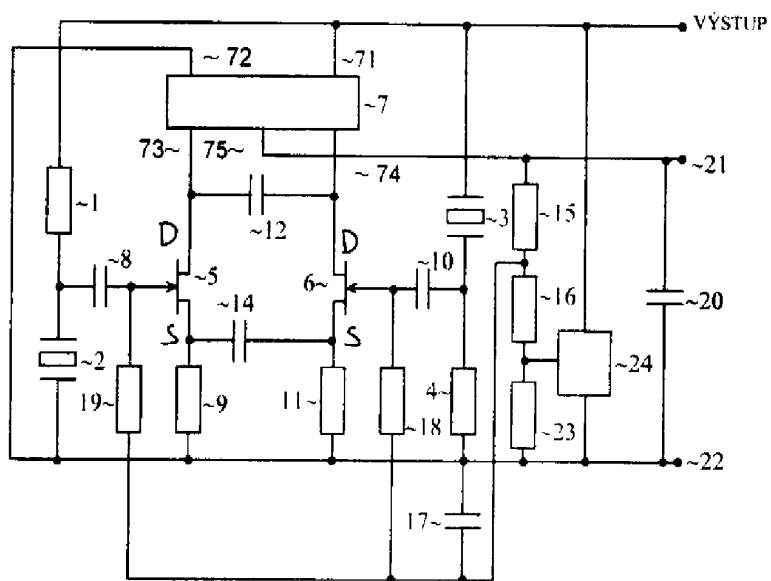
111

2010-18

2010-18



OBR.1



OBR.2