

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

304 463

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

H03B 5/36 (2006.01)

H03B 5/04 (2006.01)

H03B 5/06 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2013-349**
(22) Přihlášeno: **13.05.2013**
(40) Zveřejněno: **14.05.2014**
(Věstník č. 20/2014)
(47) Uděleno: **02.04.2014**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **14.05.2014**
(Věstník č. 20/2014)

(56) Relevantní dokumenty:
EUROQUARTZ TECHNICAL NOTES
<http://www.euroquartz.co.uk/portals/0/pdf/tech-notes.pdf>,
str. 4 24. 10. 2012.
US 3054973 A; 1001323; 1001321; 1001324; 1001322; 1001325.

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

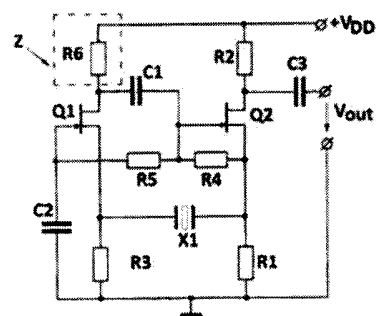
(72) Původce:
doc. Ing. Julius Foit, CSc., Praha 6, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Hana Dušková, Na Kočově 180, 281 03
Chotutice

(54) Název vynálezu:
**Oscilátor typu Butler s omezeným zatížením
elektromechanického rezonátoru**

(57) Anotace:
Oscilátor je tvořen dvěma zesilovacími stupni s prvním unipolárním tranzistorem (Q1) v zapojení se společným gatem a druhým unipolárním tranzistorem (Q2) v zapojení se společným drainem. Mezi drain prvního unipolárního tranzistoru (Q1) a sběrnici napájecího napětí (V_{DD}) je připojena zatěžovací impedance (Z). Mezi drain druhého unipolárního tranzistoru (Q2) a sběrnici napájecího napětí (V_{DD}) je připojen druhý rezistor (R2). K drainu prvního unipolárního tranzistoru (Q1) je zapojen jedním koncem první kapacitor (C1), jehož druhý konec je připojen jednak ke gate druhého unipolárního tranzistoru (Q2) a jednak ke spoji čtvrtého rezistoru (R4) a pátého rezistoru (R5). Druhý konec čtvrtého rezistoru (R4) je spojen se společným vodičem nebo se sourcem druhého unipolárního tranzistoru (Q2). Druhý konec pátého rezistoru (R5) je spojen s gate prvního unipolárního tranzistoru (Q1), k němuž je současně připojen jeden konec druhého kapacitoru (C2), jehož druhý konec je spojen se společným vodičem. Source prvního unipolárního tranzistoru (Q1) je spojen s jedním koncem třetího rezistoru (R3) a s jedním koncem elektromechanického rezonátoru (X1), jehož druhý konec je spojen se sourcem druhého unipolárního tranzistoru (Q2), ke kterému je připojen jeden konec prvního rezistoru (R1). Druhé konce třetího rezistoru (R3) a

prvního rezistoru (R1) jsou spojeny se společným vodičem. Mezi drain druhého unipolárního tranzistoru (Q2) a živou svorku výstupního napětí (V_{out}) je jedním koncem připojen třetí kapacitor (C3).



Oscilátor typu Butler s omezeným zatížením elektromechanického rezonátoru

Oblast techniky

Předkládané řešení se týká oscilátoru, který samočinně omezuje výkonové zatížení kmitočet určujícího elektromechanického rezonátoru, čímž jednak zlepšuje stabilitu kmitočtu, jednak minimalizuje riziko jeho mechanického přetížení, případně poškození.

Současný stav techniky

Elektrických obvodových řešení oscilátorů, v nichž je kmitočet vytvářených kmitů stabilizován elektromechanickým rezonátorem, dnes ve velké většině případů piezoelektrickým, existuje velký počet typů. Jejich společným základním funkčním principem je zařazení elektromechanického rezonátoru do elektronického obvodu, který kompenzuje ztráty v rezonátoru, nejčastěji pomocí uzavřené smyčky kladné zpětné vazby, případně pomocí záporného diferenciálního odporu, takže rezonátor se rozkmitá na svém vlastním charakteristickém kmitočtu netlumenými kmity s konstantní amplitudou. Aby k této situaci došlo, musejí být splněny oscilační podmínky, které lze nejjednodušeji popsat jako stav, při kterém je výkonové zesílení v uzavřené zpětnovazební smyčce rovné +1. Vzhledem k tolerancím hodnot elektronických součástek i rezonátorů a jejich stabilitě v běžných provozních podmínkách však je nemožné tyto podmínky dodržet přesně a stabilně. Dosavadní oscilátorové obvody tento problém řeší tak, že jsou zkonstruovány s výkonovým zesílením A_p ve zpětnovazební smyčce podstatně větším, než +1, takže při rozběhu obvodu amplituda vytvářených kmitů začne vzrůstat; růst amplitudy pokračuje tak dlouho, až se překročí meze linearity charakteristik užitých součástek, čímž se začne výkonové zesílení zmenšovat. Tento jev pokračuje tak dlouho, až obvod dosáhne ustáleného stavu, při kterém je podmínka $A_p = +1$ právě splněna. Ustálená amplituda vytvářených kmitů potom závisí na konkrétních vlastnostech užitých součástek, a na zatěžovacích a napájecích podmínkách. Vzhledem k tomu, že hodnoty vnitřních parametrů jednotlivých typů, respektive kusů elektromechanických rezonátorů, mají také nezanedbatelnou šířku tolerančního pole, navrhuje se příslušné elektronické obvody zpravidla s velkou rezervou výkonového zesílení, aby bylo zajištěno spolehlivé rozkmitání i méně jakostních kusů rezonátorů. Rozptyl hodnot parametrů rezonátorů se mimořádně zvětšuje zejména v případech, kdy elektromechanický rezonátor slouží jako senzor pro detekci či sledování jiných veličin, zejména neelektrických. Velká rezerva výkonového zesílení potom vede k tomu, že rezonátory s dobrou jakostí jsou rozkmitávány do velkých hodnot amplitudy mechanických kmitů, což vede k jejich zahřívání a tím ke zhoršování stability kmitočtu, případně i k jejich mechanickému poškození či úplnému zničení. Individuální nastavování optimální hodnoty výkonového zesílení v oscilátorovém obvodu je nesnadné, nákladné, a zejména při předem nepředvídatelně proměnných provozních podmínkách často zcela nemožné.

Příklad běžného řešení oscilátoru s kmitočtem, stabilizovaným elektromechanickým rezonátorem je uveden v obr. 1a. Tranzistor je typu JFET s kanálem s vodivostí typu N a pracuje jako běžný jednostupňový laděný invertující zesilovač napětí se společným source. Klidový pracovní bod tranzistoru je nastaven standardním způsobem pomocí rezistorů R_a a R_b . Kapacitor C_c přemostňuje odpor v source, aby nevytvářel zápornou zpětnou vazbu pro střídavé složky signálu. Kapacitor C_{dg} je kapacita drain–řídící elektroda, a zpravidla není nutné mít ho v obvodu jako externí diskrétní součástku, postačí samotná parazitní vnitřní kapacita tranzistoru. Kapacitorem C_b se odvádí výstupní signál do vnější zátěže. Obvod $L_a C_a$ je naladěn na rezonanční kmitočet elektromechanického rezonátoru X_a . Obvod se rozkmitá na kmitočtu, při kterém součet fázových posuvů na obvodu $L_a C_a$, na kapacitoru C_{dg} a na rezonátoru X_a je roven π , takže spolu s inverzí v zesilovacím stupni vytvoří celkový fázový posuv 2π , neboli kladnou zpětnou vazbu. Pokud je zároveň absolutní hodnota napětíového zesílení ve zpětnovazební smyčce větší než 1, jsou tím splněny podmínky pro vznik autonomních netlumených kmitů. Kmitočet vytvářeného signálu je potom blízký paralelnímu rezonančnímu kmitočtu rezonátoru. Amplituda vytvářených kmitů se ustálí na

hodnotě, při které je zesilovací stupeň natolik přebuzen, že vlivem nelinearity tranzistoru Q_a účinná absolutní hodnota napětového zesílení stupně klesne právě na jednotkovou velikost. To s sebou přináší popsané nevýhody.

- 5 Jiná běžná varianta oscilátoru s kmitočtem řízeným elektromechanickým rezonátorem je uvedena v obr. 1b. Zde se kladné napětové zpětné vazby dosahuje kaskádním řazením dvou invertujících zesilovacích stupňů s bipolárními tranzistory NPN, přičemž rezonátor slouží jako jeden z vazebních prvků.
- 10 Dále je vhodné zmínit i tzv. Butlerův oscilátor, užívající bipolárního tranzistoru v zapojení neinvertujícího zesilovače se společnouází. Jedná se o zapojení s paralelním LC obvodem v kolektoru, z jehož induktivní nebo kapacitní odbočky je buď veden krystalový rezonátor na emitor zesilovacího tranzistoru přímo, nebo prostřednictvím dalšího neinvertujícího zesilovače se společným kolektorem (viz např. publikace Technical notes anglické firmy EUROQUARTZ Ltd.
- 15 (www.euroquartz.co.uk/portals/0/pdf/tech-notes.pdf).

- Je třeba zdůraznit, že obvody uvedené v obr. 1a, 1b, jsou pouze příklady z mnoha běžně užívaných variant, prakticky všechny dosud běžné obvody však trpí výše popsanými, i dalšími nevýhodami. Stejně jako obr. 1a, ani obr. 1b neobsahuje samočinné omezení amplitudy generovaných kmitů a i zde se amplituda omezí až hrubým přebuzením zesilovacích tranzistorů.
- 20

- Například německý patent č. 1516863 je variantou Butlerova oscilátoru s bipolárními tranzistory, zaměřený poněkud jinak, než tato přihláška. Řešení užívá teplotně závislých součástek ke změně vnitřní impedance, budící křemenný krystal. Její nevýhodou je, že neřeší velikost vybudení rezonátoru, tedy jeho zatížení.
- 25

- Jiným příkladem je řešení dle dokumentu US 3 996 530. Zde je velikost vybudení rezonátoru v oscilátoru, který je opět osazen bipolárními tranzistory, řeší pomocí přídavných nelineárních omezovacích stupňů. Nevýhodou tohoto obvodu je složitost a závislost omezovací charakteristiky obvodu na velikosti napájecího napětí.
- 30

- Dalším příkladem dosavadních řešení variant Butlerova oscilátoru je WO 9211691. Tento patent je orientován na možnost přeladování generovaného kmitočtu zaváděním elektronicky řízené proměnné reaktance do budící impedance rezonátoru a vůbec neřeší otázku omezení zatížení rezonátoru.
- 35

Podstata vynálezu

- 40 Výše uvedené nevýhody odstraňuje oscilátor s omezeným zatížením elektromechanického rezonátoru podle předkládaného řešení, který je odvozen od dvoutranzistorové verze oscilátoru typu Butler. Jeho podstatou je, že je tvořen dvěma zesilovacími stupni s prvním unipolárním tranzistorem v zapojení se společným gatem a s druhým unipolárním tranzistorem v zapojení a se společným drainem. Mezi drain prvního unipolárního tranzistoru a sběrnici napájecího napětí je připojena zatěžovací impedance Z a mezi drain druhého unipolárního tranzistoru a sběrnici napájecího napětí je připojen druhý rezistor. K drainu prvního unipolárního tranzistoru je dále zapojen jedním koncem první kapacitor, jehož druhý konec je připojen jedna ke gate druhého unipolárního tranzistoru a jednak ke spoji čtvrtého a pátého rezistoru. Druhý konec čtvrtého rezistoru je spojen se společným vodičem nebo se source druhého unipolárního tranzistoru. Druhý konec pátého rezistoru je spojen s gatem prvního unipolárního tranzistoru, k němuž je současně připojen jeden konec druhého kapacitoru, jehož druhý konec je spojen se společným vodičem. Současně je source prvního unipolárního tranzistoru spojen s jedním koncem třetího rezistoru a s jedním koncem elektromechanického rezonátoru. Druhý konec elektromechanického rezonátoru je spojen se source druhého unipolárního tranzistoru, ke kterému je připojen jeden konec prvního rezistoru.
- 50
- 55 Druhé konce třetího a prvního rezistoru jsou spojeny se společným vodičem. K drainu druhého

unipolárního tranzistoru je jedním koncem připojen třetí kapacitor, který je druhým koncem připojen k živé svorce výstupního napětí, jehož zemní svorka je spojena se společným vodičem.

V jednom možném provedení je zatěžovací impedance tvořena šestým rezistorem, ve druhém možném provedení pak je zatěžovací impedance tvořena paralelním rezonančním obvodem sestávajícím z induktoru a čtvrtého kapacitoru, přičemž tento rezonanční obvod je naladěný na kmitočet rezonátoru.

První a druhý unipolární tranzistor mohou být tranzistory JFET. Je také možná varianta, kdy jsou první a druhý unipolární tranzistor tranzistory typu MOS. V tomto případě je paralelně ke čtvrtému rezistoru připojena dioda. V případě tranzistorů MOS s kanálem N je dioda připojena anodou ke gatu druhého unipolárního tranzistoru a katodou k jeho sourcu. V případě použití tranzistorů MOS s kanálem P je dioda připojena opačně. V těchto případech je možné ke spoji druhého konce čtvrtého rezistoru a katody diody připojit spoj sedmého rezistoru a druhý konec pátého kapacitoru jsou spojeny se společným vodičem, a druhý konec osmého rezistoru je spojen se sběrníci napájecího napětí.

Polarita napájecího napětí je samozřejmě volena podle typu použitých unipolárních tranzistorů, tedy pro tranzistory JFET nebo MOS s kanálem typu N je napájecí napětí kladné, zatím co pro tranzistory s kanálem P je záporné.

Výhodou uvedeného řešení je, že oscilátor samočinně nastavuje zesílení ve zpětnovazební smyčce na hodnotu minimálně potřebnou k udržení autonomních kmitů, a to nezávisle na činiteli jakosti elektromechanického rezonátoru. Tím se omezí amplituda kmitů rezonátoru, která by zejména u rezonátorů s vysokým činitelem jakosti vedla k jejich přetěžování, zahřívání a tím ke zhoršení stability generovaného kmitočtu. Zároveň je umožněno spolehlivé rozkmitání i rezonátorů s horším činitelem jakosti. To vše probíhá bez nutnosti vnějšího seřizování parametrů obvodu. Tyto vlastnosti obvodu podle vynálezu mají zásadní význam v případech, kdy se užívá rezonátorů, jejichž činitel jakosti se může v provozu silně měnit, například při užití elektromechanických rezonátorů jako senzorů neelektrických veličin.

Přehled obrázků na výkresech

Oscilátor s omezeným zatížením elektromechanického rezonátoru podle předkládaného řešení bude dále objasněn pomocí přiložených výkresů. Na obr. 1a a na obr. 1b jsou uvedeny typické příklady popisující stávající stav, jak bylo uvedeno výše. Na obr. 2 a na obr. 3 jsou uvedeny dvě varianty zapojení, kde je impedanční zátěž Z tvořena odporem. Varianty s unipolárními tranzistory MOS a se zařazením diody jsou na obr. 6 a na obr. 7. Obr. 4 a obr. 5 znázorňují obvody, kde je impedanční zátěž Z tvořena LC obvodem a jejich doplnění o diodu při užití tranzistorů MOS je na obr. 8 a na obr. 9.

Příklady provedení vynálezu

Obvod oscilátoru lze jako variantu 1 uspořádat podle obr. 2. Zde je impedanční zátěž Z tvořena šestým rezistorem R_6 . První unipolární tranzistor Q_1 má v tomto případě k drainu připojen jeden konec tohoto šestého rezistoru R_6 a jeden konec prvního kapacitoru C_1 . Druhý konec šestého rezistoru R_6 je spojen s kladnou svorkou napájecího napětí V_{DD} . Druhý konec prvního kapacitoru C_1 je spojen s gatem druhého unipolárního tranzistoru Q_2 a dále s jedním koncem čtvrtého rezistoru R_4 a s jedním koncem pátého rezistoru R_5 . Druhý konec pátého rezistoru R_5 je spojen s gatem prvního unipolárního tranzistoru Q_1 a s jedním koncem druhého kapacitoru C_2 , jehož druhý konec je spojen se společným vodičem, s nímž je spojen i druhý konec čtvrtého rezistoru R_4 . Source prvního unipolárního tranzistoru Q_1 je spojen s jedním koncem třetího rezistoru R_3 a s jedním koncem krystalového rezonátoru X_1 . Druhý konec krystalového rezonátoru X_1 je spo-

jen se sourcem druhého unipolárního tranzistoru Q2 a s jedním koncem prvního rezistoru R1. Druhý konec prvního rezistoru R1, druhý konec třetího rezistoru R3 jsou spojeny se společným vodičem. Drain druhého unipolárního tranzistoru Q2 je spojen s jedním koncem druhého rezistoru R2 a s jedním koncem třetího kapacitoru C3. Druhý konec druhého rezistoru R2 je spojen s kladnou svorkou napájecího napětí V_{DD} . Druhý konec třetího kapacitoru C3 je spojen s živou svorkou výstupního napětí V_{out} . Zemní svorka výstupního napětí V_{out} je spojena se společným vodičem, se kterým je spojen i záporný pól napájecího napětí V_{DD} .

V obr. 3 je nakreslena druhá varianta řešení obvodu z obr. 2. Jediný rozdíl spočívá v tom, že druhý konec čtvrtého rezistoru R4 je spojen se sourcem druhého unipolárního tranzistoru Q2 místo se společným vodičem, takže počáteční klidový stejnosměrný stav obvodu po zapnutí před rozkmitáním odpovídá nulové hodnotě stejnosměrného předpětí gatů obou tranzistorů Q1 a Q2. Po všech ostatních stránkách jsou oba obvody funkčně totožné. Varianta podle obr. 3 se hodí pro ty typy tranzistorů, které už při nulové hodnotě stejnosměrné složky U_{GS} , tedy klidového předpětí gatů, mají velkou hodnotu diferenciálního parametru y_{22S} , a tím i velké zesílení.

Obvod podle obr. 2 je velmi univerzální tím, že neobsahuje žádné jiné součástky, určující pracovní kmitočet, než rezonátor X1. Této univerzálnosti obvod dosahuje za cenu menšího zesílení ve stupni s prvním unipolárním tranzistorem Q1, než je v praxi maximálně dosažitelné. Pokud je zapotřebí rozkmitávat i rezonátory s nepříliš dobrou jakostí, může zesílení, dosahované v obvodu podle obr. 2 být nedostatečné. V takové situaci je vhodnější užít varianty, uvedené v obr. 4. Zde má první unipolární tranzistor Q1 k drainu místo šestého rezistoru R6 připojen jako impedanční zátěž Z paralelní rezonanční obvod tvořený čtvrtým kapacitorem C4 a induktorem L1, kde tento rezonanční obvod je naladěný na kmitočet rezonátoru X1. Jeden konec čtvrtého kapacitoru C4 a jeden konec induktoru L1 jsou připojeny spolu s jedním koncem prvního kapacitoru C1 k drainu prvního unipolárního tranzistoru Q1. Druhý konec induktoru L1 a druhý konec čtvrtého kapacitoru C4 jsou spojeny s kladnou svorkou napájecího napětí V_{DD} . Všechny ostatní části obvodu jsou zapojeny shodně s obvodem podle obr. 2, a oba obvody pracují podle týchž pravidel.

V obr. 5 je uvedena varianta řešení obvodu z obr. 4. Jediný rozdíl zde spočívá v tom, že pravý konec čtvrtého rezistoru R4 je spojen se sourcem druhého unipolárního tranzistoru Q2 místo se společným vodičem, takže počáteční klidový stejnosměrný stav obvodu po zapnutí před rozkmitáním odpovídá nulové hodnotě stejnosměrného předpětí gatů obou unipolárních tranzistorů Q1 a Q2. Po všech ostatních stránkách jsou oba obvody funkčně totožné. Varianta podle obr. 5 se hodí pro ty typy unipolárních tranzistorů, které i v pracovním bodě s nulovou hodnotou stejnosměrné složky U_{GS} , tedy klidového předpětí řídicí elektrody, mají velkou hodnotu diferenciálního parametru y_{22S} , a tím už i velké zesílení. Tato varianta je, až na větší zesílení, dosahované užitím laděného obvodu LC v drainu prvního unipolárního tranzistoru Q1, zapojením a funkcí shodná s obvodem podle obr. 3.

Oscilátorový obvod užívá sourceově vázaného dvoustupňového zesilovače s unipolárními tranzistory Q1, Q2 JFET. Stupeň s prvním unipolárním tranzistorem Q1 pracuje v zapojení se společným gatem, stupeň s druhým unipolárním tranzistorem Q2 pracuje v zapojení se společným drainem. Elektrody source obou unipolárních tranzistorů Q1, Q2 nejsou vzájemně spojeny přímo, ale prostřednictvím elektromechanického rezonátoru X1. Ten na svém kmitočtu sériové rezonance představuje velmi malý odpor, který zprostředkovává přenos signálu pracovního kmitočtu, na jiných kmitočtech se chová jako velká impedance, takže signál nepřenáší. Oscilátor tedy pracuje na sériovém rezonančním kmitočtu rezonátoru X1, který je, jak známo, odolnější proti vnějším vlivům, než kmitočet paralelní rezonance. Prvním unipolárním tranzistorem Q1 napětově zesílený signál se z jeho drainu přenáší na gate druhého unipolárního tranzistoru Q2 prvním kapacitorem C1. Jakmile amplituda signálu na drainu druhého unipolárního tranzistoru Q2 překročí hodnotu stejnosměrného úbytku na prvním rezistoru R1, vyvolaného klidovým proudem druhého unipolárního tranzistoru Q2 o hodnotu prahového napětí izolačního přechodu gate-source prvního tranzistoru Q1, začne přechod PN mezi řídicí elektrodou a sourcem druhého unipolárního tranzistoru Q2 signál usměrňovat, takže napětí na gate druhého unipolárního tranzistoru Q2 začne

dostávat zápornou stejnosměrnou složku. Tím se pracovní bod druhého unipolárního tranzistoru Q2 posouvá po jeho převodní charakteristice do oblasti s menší hodnotou diferenciálního parametru y_{21S} a tím se zmenšuje zesílení druhého unipolárního tranzistoru Q2.

- 5 Hodnota čtvrtého rezistoru R4 musí být velká ve srovnání s diferenciálním odporem spoje drainu druhého unipolárního tranzistoru Q2 a paralelního obvodu L1 C1, naladěného na sériový rezonanční kmitočet krystalového rezonátoru X1, proti společnému vodiči. Časové konstanty R4C3 a R5C2 musejí být velké proti době trvání kmitu rezonátoru X1. Tyto podmínky lze v praxi splnit bez obtíží. Záporná stejnosměrná složka se z gate druhého unipolárního tranzistoru Q2 přenáší pátým rezistorem R5 na gate prvního unipolárního tranzistoru Q1, takže i jeho zesílení je tak regulováno. Gate prvního unipolárního tranzistoru Q1 je přitom z hlediska střídavých složek signálu druhým kapacitorem C2 spojen se společným vodičem, takže z hlediska střídavého signálu první unipolární tranzistor Q1 pracuje jako stupeň se společným gatem. Tato samočinná regulace zesílení v obou stupních velmi účinně omezuje amplitudu střídavé složky signálu, takže nemůže dojít k přetížení krystalového rezonátoru. Přitom při uvádění obvodu do chodu na gatech prvního unipolárního tranzistoru Q1 a druhého unipolárního tranzistoru Q2 žádná přídavná záporná stejnosměrná složka není ještě přítomná, takže oba stupně pracují s maximálním možným zesílením, a jsou tak schopné přivést k rozkmitání i rezonátor s poměrně špatným činitelem jakosti. Výstupní signál se z obvodu odebírá z druhého rezistoru R2, umístěného v napájení drainu druhého unipolárního tranzistoru Q2, který leží mimo zpětnovazební trasu zpracovávaného signálu, takže vliv změn vnější zátěže na stabilitu kmitočtu vytvářených kmitů je minimalizován.

- Všechny varianty obvodu podle obr. 2 až obr. 5 byly konstruovány s unipolárními tranzistory s gatem izolovaným přechodem PN, čili typu JFET. Je však možné sestavit zcela obdobně pracující oscilátorové obvody i s tranzistory s gatem izolovaným dielektricky, čili s tranzistory typu MOS, někdy též označovanými jako typ MIS. V obr. 6 je uvedena varianta s tranzistorem MOS s vodivostí kanálu typu N, s kanálem vodivým při nulové hodnotě napětí gate-source. Na první pohled je vidět, že obvod je prakticky totožný s obvodem z obr. 2 až na to, že je přidána dioda D1, spojená anodou s gatem druhého unipolárního tranzistoru Q2 a katodou se sourcem téhož druhého unipolárního tranzistoru Q2. Dioda D1 zastává při chodu obvodu funkci usměrňovače střídavé složky napětí na gate druhého unipolárního tranzistoru Q2, kterou v obvodu na obr. 2 zastával izolační přechod PN gate tranzistoru typu JFET. Ve všech ostatních aspektech činnosti se obvod shoduje s obvodem, podle obr. 2.

- 35 Pokud se v obvodu oscilátoru užijí tranzistory MOS s indukovaným kanálem, tj. tranzistory, u nichž při nulovém napětí gate-source není vodivý kanál vytvořen, a k jeho vytvoření je zapotřebí na gate přivést proti source kladné předpětí, užije se obvod podle obr. 7. Proti variantě z obr. 6 je zde přidán napěťový dělič tvořený sedmým rezistorem R7 a osmým rezistorem R8, který z napájecího napětí V_{DD} tvoří přiměřený díl, nutný pro vytvoření indukovaného kanálu v unipolárních tranzistorech Q1, Q2. Spoj sedmého rezistoru R7 a osmého rezistoru R8 je pro střídavé složky napětí zkratován na společný vodič pátým kapacitorem C5. Paralelní kombinace diody D1 a čtvrtého rezistoru R4 zde není připojena mezi gate druhého unipolárního tranzistoru Q2 a jeho source, ale mezi jeho gate a spoj sedmého rezistoru R7 a osmého rezistoru R8. Pátý kapacitor C5 slouží především jako opěrný bod pro usměrňovací činnost diody D1. Ve všech ostatních aspektech činnosti je obvod z obr. 7 shodný s obvodem z obr. 6.

- Stejně jako v případě obvodů s tranzistory typu JFET je i při užití tranzistorů typu MOS výhodné zvětšit napěťové zesílení ve zpětnovazební smyčce užitím impedanční zátěže Z drainu tranzistoru Q1 ve tvaru laděného obvodu LC místo pouhého rezistoru. V obr. 8 je uvedeno zapojení varianty, která je shodná s obvodem podle obr. 6, až na nahrazení šestého rezistoru R6 paralelním obvodem L1 C4, naladěným na kmitočet elektromechanického rezonátoru X1. Zařazením laděného obvodu se zvětší napěťové zesílení ve zpětnovazební smyčce; jinak je obvod funkčně shodný s obvodem podle obr. 6. Obvod podle varianty uvedené na obr. 8 je vhodný pro užití tranzistorů MOS s vodivým kanálem, tedy s kanálem vytvořeným i při nulovém napětí gate-source.

V případě použití užit tranzistorů MOS s indukovaným kanálem, je nutné gatům tranzistorů dodat dostatečné nenulové stejnosměrné předpětí v klidovém pracovním bodě, tj. při rozběhu obvodu. Tuto situaci řeší obvod podle obr. 9. Obvod je shodný s obvodem podle obr. 7, až na nahrazení šestého rezistoru R6 v drainu prvního unipolárního tranzistoru Q1 paralelním rezonančním obvodem L1 C4, naladěným na kmitočet elektromechanického rezonátoru X1. Jinak je tento obvod funkčně shodný s variantou z obr. 7.

Uvedené příklady obvodů jsou kresleny pro unipolární tranzistory s kanálem typu N, ale funkčně totožné obvody lze sestavit i s tranzistory s kanálem typu P. Jediný rozdíl v tomto případě je opačná polarita napájecího napětí V_{DD}, opačná polarita diody D1 u obvodů, kde je zařazená a samozřejmě je opačná i polarita stejnosměrné složky signálu, kterou obvod samočinně vytvářejí na gatech unipolárních tranzistorů Q1 a Q2.

15 Průmyslová využitelnost

Oscilátor s omezeným zatížením elektromechanického rezonátoru podle předkládaného řešení má široké využití, a to v měřicí technice, v automatizačních soustavách nebo v senzorových aplikacích.

25 PATENTOVÉ NÁROKY

1. Oscilátor typu Butler s omezeným zatížením elektromechanického rezonátoru, **v y z n a -**
č u j í c í s e t í m, že je tvořen dvěma zesilovacími stupni s prvním unipolárním tranzistorem
 (Q1) v zapojení se společným gatem a druhým unipolárním tranzistorem (Q2) v zapojení a se
 30 společným drainem, ve kterých je mezi drain prvního unipolárního tranzistoru (Q1) a sběrnici
 napájecího napětí (V_{DD}), připojena zatěžovací impedance (Z) a mezi drain druhého unipolárního
 tranzistoru (Q2) a sběrnici napájecího napětí (V_{DD}) je připojen druhý rezistor (R2), dále je k drai-
 nu prvního unipolárního tranzistoru (Q1) zapojen jedním koncem první kapacitor (C1), jehož
 druhý konec je připojen jednak ke gate druhého unipolárního tranzistoru (Q2) a jednak ke spoji
 35 čtvrtého rezistoru (R4) a pátého rezistoru (R5), kde druhý konec čtvrtého rezistoru (R4) je spojen
 se společným vodičem nebo se sourcem druhého unipolárního tranzistoru (Q2) a druhý konec
 pátého rezistoru (R5) je spojen s gatem prvního unipolárního tranzistoru (Q1), k němuž je sou-
 časně připojen jeden konec druhého kapacitoru (C2), jehož druhý konec je spojen se společným
 vodičem, a současně source prvního unipolárního tranzistoru (Q1) je spojen s jedním koncem
 40 třetího rezistoru (R3) a s jedním koncem elektromechanického rezonátoru (X1), jehož druhý ko-
 nec je spojen se sourcem druhého unipolárního tranzistoru (Q2), ke kterému je připojen jeden ko-
 nec prvního rezistoru (R1), přičemž druhé konce třetího rezistoru (R3) a prvního rezistoru (R1)
 jsou spojeny se společným vodičem, a k drainu druhého unipolárního tranzistoru (Q2) je jedním
 koncem připojen třetí kapacitor (C3), který je druhým koncem připojen k živé svorce výstupního
 45 napětí (V_{out}), jehož zemní svorka je spojena se společným vodičem.

2. Oscilátor podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že zatěžovací impedance (Z) je
 tvořena šestým rezistorem (R6).

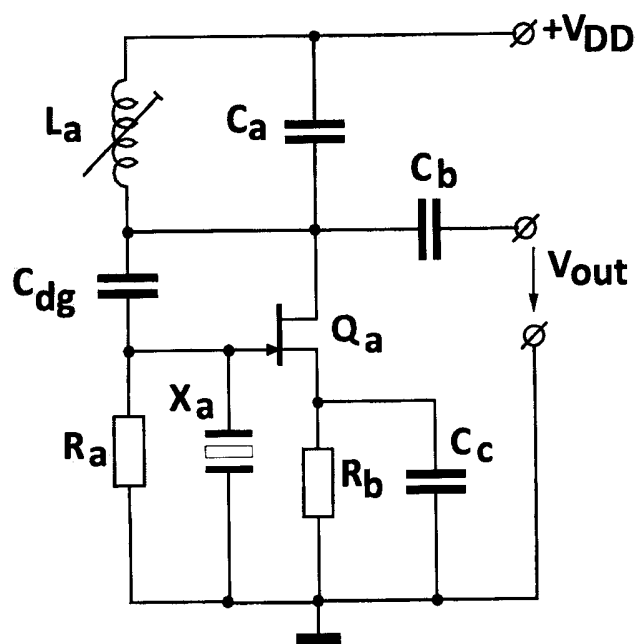
3. Oscilátor podle nároku 1, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že zatěžovací impedance (Z) je
 50 tvořena paralelním rezonančním obvodem sestávajícím z induktoru (L1) a čtvrtého kapacitoru
 (C4), kde tento rezonanční obvod je naladěný na kmitočet rezonátoru (X1).

4. Oscilátor podle některého z nároků 1 až 3, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že první unipolár-
 55 ní tranzistor (Q1) a druhý unipolární tranzistor (Q2) jsou tranzistory JFET.

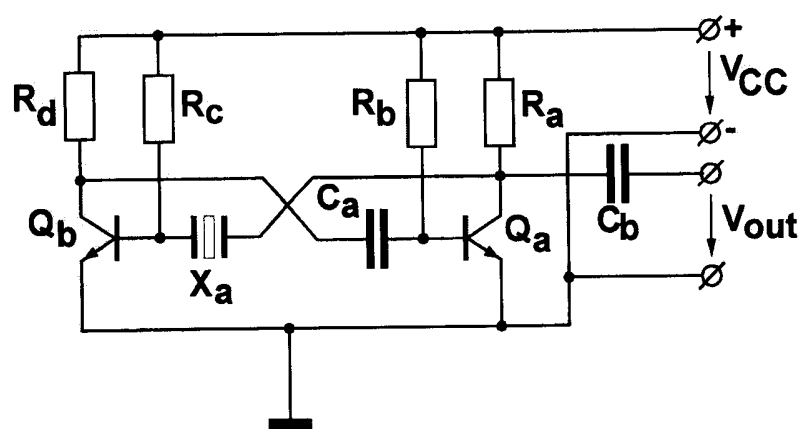
5. Oscilátor podle některého z nároků 1 až 3, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že první unipolární tranzistor (Q1) a druhý unipolární tranzistor (Q2) jsou tranzistory typu MOS, a paralelně ke čtvrtému rezistoru (R4) je připojena dioda (D1), a to v případě tranzistorů MOS s kanálem N anodou ke gate druhého unipolárního tranzistoru (Q2) a katodou k jeho sourcu, v případě tranzistorů MOS s kanálem P je dioda (D1) připojena opačně a napájecí napětí (V_{DD}) má opačnou polaritu.
6. Oscilátor podle nároku 5, **v y z n a č u j í c í s e t í m**, že ke spoji druhého konce čtvrtého rezistoru (R4) a katody diody (D1) je připojen spoj sedmého rezistoru (R7), osmého rezistoru (R8) a čtvrtého kapacitoru (C5), přičemž druhý konec sedmého rezistoru (R7) a druhý konec pátého kapacitoru (C5) jsou spojeny se společným vodičem, a druhý konec osmého rezistoru (R8) je spojen se sběrníci napájecího napětí (V_{DD}).

15

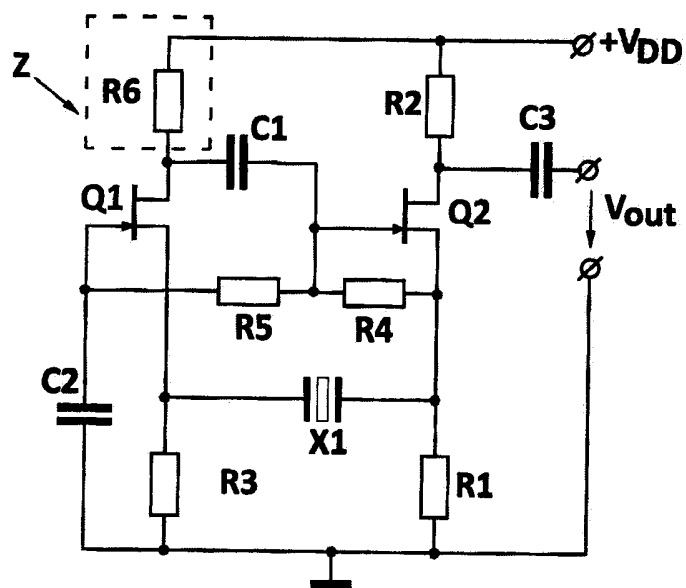
5 výkresů



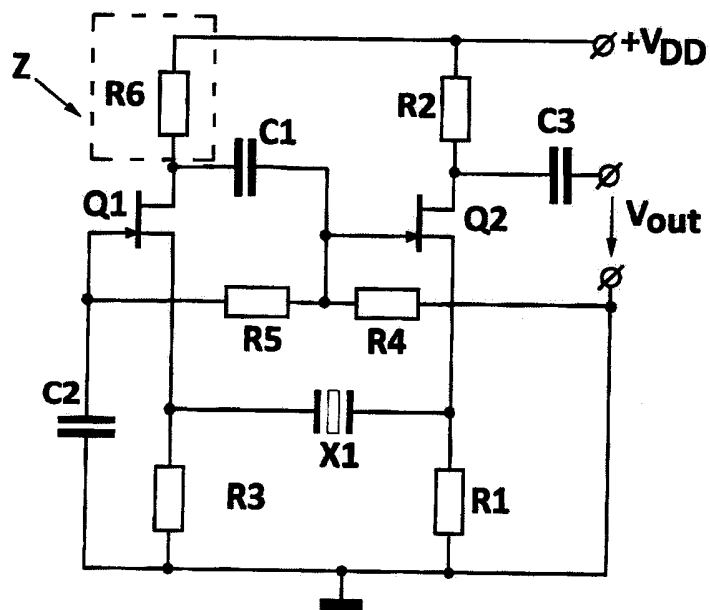
Obr. 1a



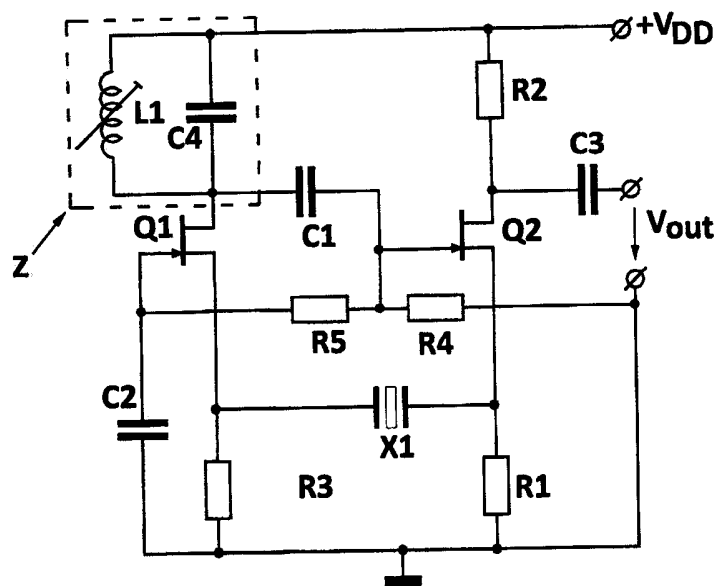
Obr. 1b



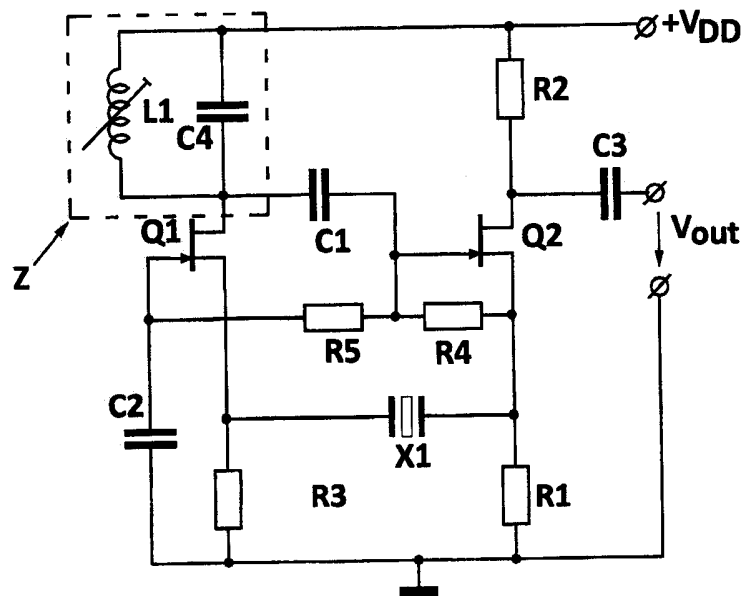
Obr. 2



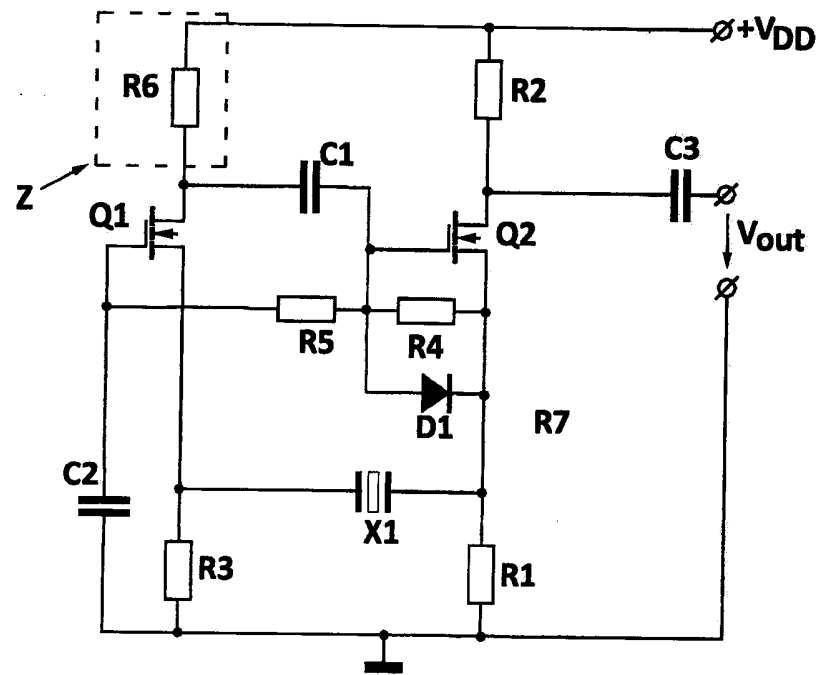
Obr. 3



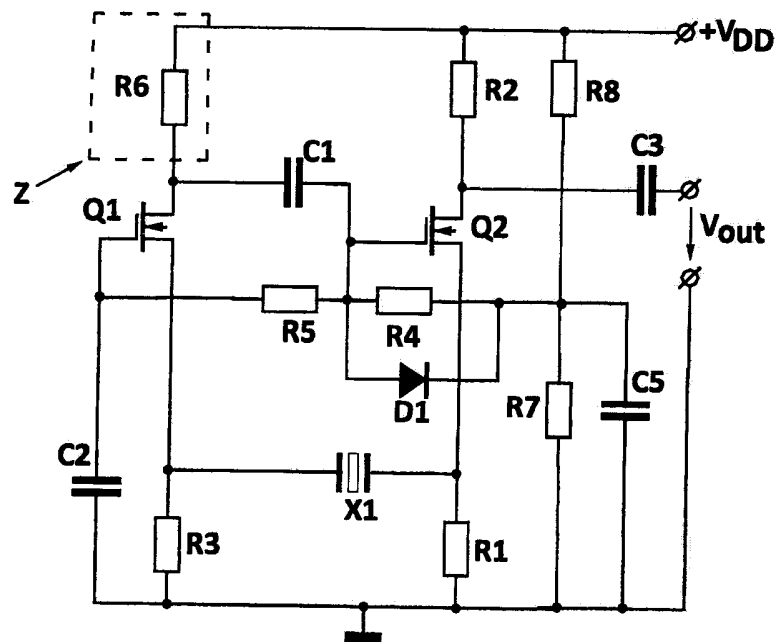
Obr. 4



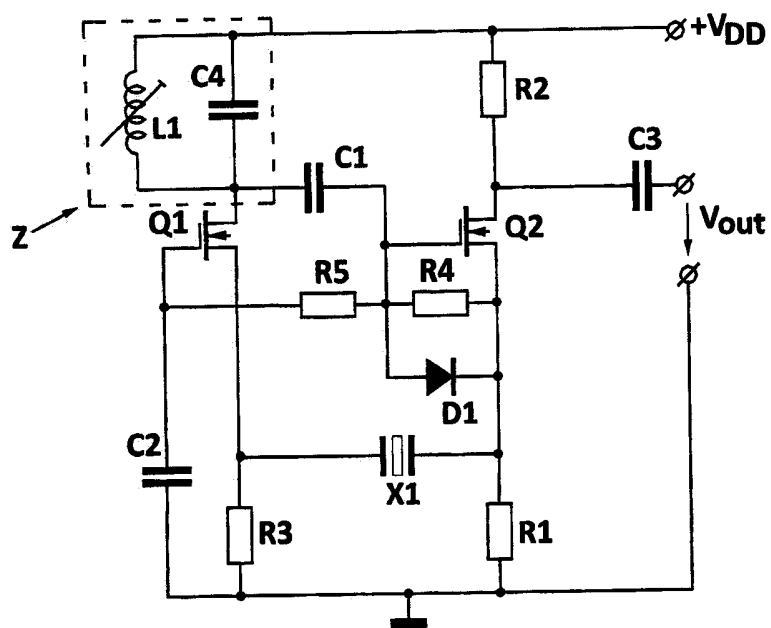
Obr. 5



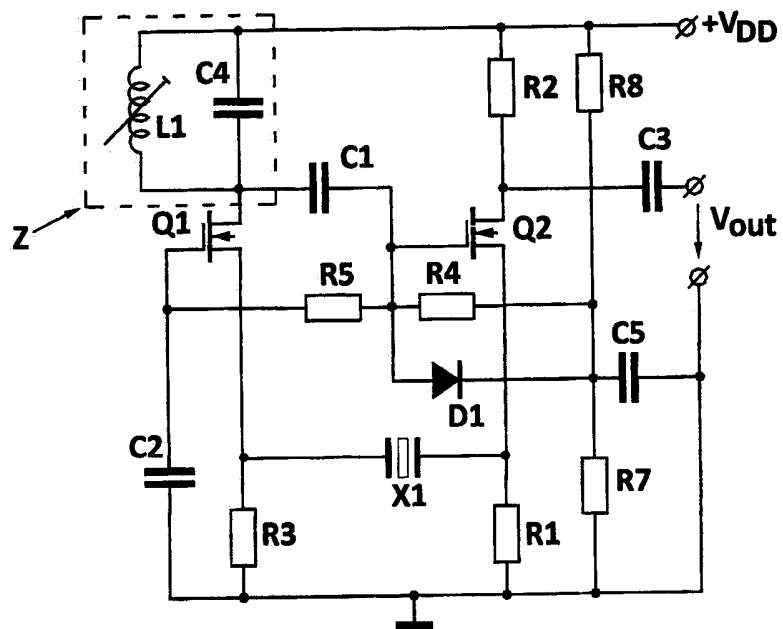
Obr. 6



Obr. 7



Obr. 8



Obr. 9

Konec dokumentu
