

FEDERÁLNÍ ÚŘAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

270 447

(11)

(13) B2

(51) Int. Cl.⁴
H 03 L 1/02

(21) PV 2039-87.U

(22) Přihlášeno 25 03 87

(40) Zveřejněno 14 11 89

(45) Vydáno 04 06 91

(72) Autor vynálezu

NAGY FERENC ing., MÉSZÁROS JÁNOS ing.,
HALÁSZ ANDOR ing., SZABÓ LÁSZLÓ G. ing.,
BUDAPEST (HU)

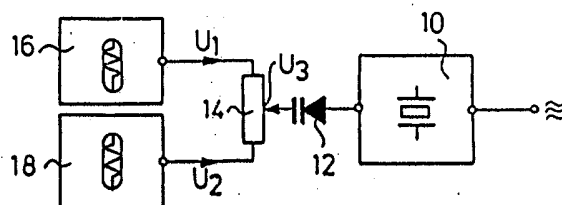
(73) Majitel patentu

BRG MECHATRONIKAI VÁLLALAT,
BUDAPEST (HU)

(54)

Zapojení pro kompenzaci teplotní závislosti
krytalových oscilátorů

(57) Zapojení obsahuje napětím řízený ladící prvek poněkud ovlivňujícím frekvenci krystalu (24) a dva teplotně kompenzační obvody (16, 18), které jsou s krystalem (24) tepelně vázány a vytvářejí ke kompenzaci teplotní závislosti vhodné kompenzační napětí přiřazené oběma mezním úhlům rozsahu řezných úhlů. Zapojení dále obsahuje lineární interpolační prvek (14) s nastavitelným proporčním faktorem, jehož dva vstupy jsou vždy spojeny s výstupy teplotně kompenzačních obvodů (16, 18), zatímco výstup interpolačního prvku (14) je spojen s nastavovacím prvkem (26) ovlivňujícím frekvenci oscilátoru (10), přičemž tento výstup dodává vážený součet obou kompenzačních napětí vhodný pro řezný úhel daného krystalu (24). Tepelně kompenzační obvody (16, 18) jsou použitelné i pro více oscilátorů (10).



Obr. 2

Vynález se týká zapojení pro kompenzaci teplotní závislosti krystalových oscilátorů opatřených křemenným krystalem s rozsahem řezných úhlů ve směru AT, obsahující teplotně kompenzační obvod, který je opatřen výstupem teplotně závislého stejnosměrného napětí a je teplotně a elektricky spojen s krystalovým oscilátorem.

Mezi různými možnostmi řezů krystalů je nejrozšířenější řez AT. Frekvence takto řezaných krystalů, které jsou vyrobeny pro stejnou frekvenci, se liší podle teploty krystalu, přičemž tato změna vykazuje přibližně kubickou závislost. Tvar funkce závisí podstatně na skutečné hodnotě řezného úhlu. Kubická funkce vykazuje inflexní bod a dvě extrémní hodnoty, přičemž v závislosti na řezném úhlu mění křivka znaménko a při daném řezném úhlu má tangenta v inflexním bodě vodorovnou polohu.

Vodorovná tangenta znamená, že frekvence krystalů řezaných tímto způsobem je v relativně širokém teplotním rozsahu konstantní, nebo se mění jen málo. Firmy vyrábějící krystaly se ovšem snaží vyříznout krystaly právě v takovém řezném úhlu, při současné výrobní technologii lze však s ohledem na ekonomii zaručit řezný úhel krystalů jen v toleranci asi 5 úhlových minut.

U krystalů řezaných v takové toleranci je přesnost frekvence v teplotním rozsahu -20°C až $+70^{\circ}\text{C}$ $\pm 0,01$ promile. Vyšší přesnosti lze dosáhnout pouze výběrem vyrobených krystalů, což je nejen časově náročné, ale i neekonomické. To je důvodem, že cena krystalů se zmenšující se zaručovanou teplotní závislostí prudce roste.

Krystalové oscilátory se používají obecně tam, kde je zapotřebí velké přesnosti frekvence. V různých informačních přenosových systémech je požadavek, udržet přesnost frekvence pokud možno v toleranci 0,001 až 0,015 promile, zatímco se teplota okolí může měnit v mezích od -25°C do $+80^{\circ}\text{C}$. Takové požadavky na přesnost frekvence lze najít i v celé řadě jiných oborů použití.

K omezení teplotní závislosti frekvence krystalových oscilátorů se rozšířila celá řada různých kompenzačních řešení. Současné řešení, u kterého je krystal umístěn v termostatu, ustupuje stále více do pozadí pro relativně značné nároky na prostor termostatu a značnou spotřebu energie. Je dále známa celá řada kompenzačních metod a obvodů. Taková řešení mohou tvořit analogové nebo digitální systémy, jejichž funkční princip spočívá v tom, že frekvence oscilátoru obsahujícího krystal se mění pomocí relativního prvku v závislosti na teplotě v obráceném směru než je přirozená změna frekvence s teplotou a této změně úměrně, čímž se dosahuje menší změny skutečného kmitočtu na teplotě.

Pro analogovou teplotní kompenzaci je znám příklad řešení, kde se vytváří kubická kompenzační křivka součtem více teplotně závislých obvodů s různou strmostí. Jiným příkladem je řešení, u kterého se přibližné charakteristiky dosahuje matematicky a koeficienty se v daném obvodu nastavují pomocí prvků. Nastavení je přitom časově velmi náročné, protože každý krystal musí být v daném teplotním rozsahu proměřen a parametry kompenzačního obvodu nastaveny podle toho, jak se krystal skutečně chová.

U vícekanálového VKV přijímače se například používá deset až dvanáct krystalových oscilátorů a příslušně stabilní frekvenci je možno zaručit jen v případě, jestliže se pro každý oscilátor či krystal použije k němu přizpůsobeného kompenzačního obvodu.

Z výše uvedeného vyplývá, že náklady na oscilátory, které zajišťují vysokou přesnost frekvence a pracují v širokém rozsahu provozních teplot, jsou pro materiálové náklady a pracnost spojenou s teplotní kompenzací značně vysoké.

Vynálezem řešená úloha spočívá ve vytvoření kompenzačního zapojení, které zjednodušuje dosažení nezávislosti frekvence na teplotě u krystalů s řezem ve směru AT.

Vynálezem bylo vytvořeno zapojení pro kompenzaci teplotní závislosti krystalových oscilátorů, opatřených křemenným krystalem s rozsahem řezných úhlů ve směru AT, obsahující teplotně kompenzační obvod, který je opatřen výstupem teplotně závislého stejnosměrného napětí a je teplotně a elektricky spojen s krystalovým oscilátorem, kde podstata vynálezu spočívá v tom, že zapojení je opatřeno prvním teplotně kompenzačním obvodem a druhým teplotně kompenzačním obvodem,

příčemž výstup prvního teplotně kompenzačního obvodu je připojen k prvním vstupům n lineárních interpolačních prvků, zatímco výstup druhého teplotně kompenzačního obvodu je připojen ke druhým vstupům n lineárních interpolačních prvků a výstup každého n-tého lineárního interpolačního prvku je přes n-tý ladící prvek spojen s n-tým krystalovým oscilátorem, kde n je přirozené číslo v rozmezí od 1 do N.

U jednoho výhodného příkladu provedení vynálezu je lineární interpolační prvek tvořen potenciometrem, zatímco ladící prvek tvoří kapacitní dioda.

Vzhledem k dobré nastavitelnosti je výhodné, je-li v oscilátoru krystal zapojen do série s nastavitelnou indukčností a oscilátor kmitá na třetí harmonické krystalu. Tato posledně uvedená podmínka vyžaduje zařazení takových prvků do obvodu oscilátoru, které zabrání kmitání na první harmonické.

Použití lineárního interpolačního prvku umožnila skutečnost, že v kubické funkci, vyjadřující teplotní závislost krystalu, jsou koeficienty lineární závislé na řezném úhlu takže následkem toho je možné ze součtu kompenzačních napětí, patřících k oběma mezním řezným úhlům, kompenzovat teplotní závislost krystalu pro libovolné mezilehlé řezné úhly.

Řešení podle vynálezu může kompenzovat nejen frekvenci jednoho oscilátoru, ale i více oscilátorů, jsou-li uspořádány za stejných teplotních podmínek a každý z oscilátorů obsahuje krystal vyříznutý v příslušném uvedeném řezném úhlu a obsahuje ladící prvek a podle vynálezu je jednodušším oscilátorům, přiřazen interpolační prvek a oscilátory jsou společně spojeny s oběma uvedenými teplotně kompenzačními obvody. Společná kompenzace více oscilátorů přináší významnou úsporu obvodů ve srovnání s dříve používanými kompenzačními řešeními pro každý oscilátor.

Časová náročnost navrženého způsobu kompenzace je podstatně menší než u známých řešení, která vyžadují individuální nastavování při více teplotách. Tím se zjednoduší výroba, sníží náklady a vyloučí možnost subjektivních chyb nastavení.

V dalším bude řešení podle vynálezu blíže popsáno na příkladech provedení a pomocí přiložených obrázků, kde na obr. 1 je znázorněna změna kompenzačního napětí v závislosti na teplotě pro krystaly se třemi různými řeznými úhly, na obr. 2 je znázorněno funkční blokové schéma zapojení podle vynálezu, na obr. 3 je znázorněno schéma uspořádání pro společnou teplotní kompenzaci více oscilátorů, na obr. 4 je znázorněno podrobné schéma oscilátoru, s výhodou používaného v zapojení podle vynálezu a na obr. 5 jsou znázorněny charakteristiky frekvence-napětí kompenzovaných a nekompenzovaných oscilátorů.

Z odborné literatury je známo, že teplotní závislost frekvence krystalů řezaných ve směru AT lze vyjádřit kubickou funkcí:

$$f/f_0 = A_1 (t-t_0) + A_2 (t-t_0)^2 + A_3 (t-t_0)^3 \quad (1)$$

V této rovnici značí koeficienty A_1 , A_2 , A_3 řezný úhel. Je třeba jen připomenout, že krystal musí být použit v takovém oscilátorovém obvodu jako frekvenci určující prvek, jehož okamžitá frekvence může být ovlivněna kapacitní diodou. Při znalosti změny frekvence krystalu s teplotou a účinku napětí kapacitní diody na frekvenci může být pro každou teplotu vypočteno takové napětí U , které je schopno účinek teplotní změny kompenzovat, to jest u kterého kmitá oscilátor právě na jmenovité frekvenci. Tato závislost napětí - teplota je pro každý řezný úhel jiná.

Na obr. 1 znamenají první a druhá křivka a a b dva takové kompenzační diagramy napětí - teplota. Diagramy, které znázorňují průběh napětí U_1 nebo U_2 patří ke dvěma takovým krystalům, jejichž rozdíl řezných úhlů je 5 úhlových minut. Tento rozdíl znamená současně největší rozdíl úhlů pro danou přesnost, to jest 0,01 promile. Jestliže se přiřadí k dané frekvenci například krystal s přesností 0,01 promile, leží řezný úhel každého dodaného krystalu uvnitř dvou zvolených mezních úhlů.

Jak vyplývá z obr. 2, je připojena ke krystalu řízenému oscilátoru 10 kapacitní dioda 12. Kapacitní dioda 12 dostává z odbočky potenciometru 14 stejnosměrné napětí, přičemž první konec potenciometru 14 je spojen s výstupem prvního teplotně kompenzačního obvodu 16, zatímco druhý konec potenciometru 14 je spojen s výstupem druhého teplotně kompenzačního obvodu 18. První i druhý teplotně kompenzační obvod 16, 18 jsou tak vytvořeny a nastaveny, že na svých výstupech dodávají napětí U_1 a U_2 podle diagramu na obr. 1. První i druhý teplotně kompenzační obvod 16 a 18 mohou být tvořeny libovolnými známými kompenzačními obvody. Leží-li řezný úhel krystalu použitého v oscilátoru mezi oběma mezními úhly, které odpovídají prvnímu i druhému teplotně kompenzačnímu obvodu 16, 18, je na potenciometru 14 s jistotou poloha, která při napětí U_3 na kapacitní diodě 12 je vhodná ke kompenzaci teplotní závislosti tohoto krystalu, protože koeficienty rovnice (1) jsou lineárně závislé na řezném úhlu.

Na obr. 1 znázorňuje třetí křivka c napětí U_3 , které se vztahuje na krystal s mezilehlým úhlem řezu.

Nastavení potenciometru 14 se může provést při jediné teplotě. Chyba nastavení je nejmenší tehdy, provádí-li se nastavení za teploty, u které rozdíl mezi napětími U_1 a U_2 je největší. Podle obr. 1 se to týká mezní teploty. Při nastavování se krystal v oscilátoru 10 ohřeje společně s prvním i druhým teplotně kompenzačním obvodem 16, 18 například na teplotu 80°C a po dosažení tepelné rovnováhy se nastaví potenciometrem 14 jmenovitá frekvence. Potom obdrží kapacitní dioda 12 při každé teplotě takové kompenzační napětí, které kompenzuje teplotní závislost kmitající frekvence.

U dosud používaných teplotně kompenzačních řešení bylo postačující použít jediného kompenzačního obvodu, takže použití dvou navržených kompenzačních obvodů se zdá na první pohled přebytným vícenásobkem. U známých řešení bylo ale třeba každý teplotně kompenzační obvod vždy individuálně nastavit podle charakteristik příslušného krystalu, zatímco první a druhý teplotně kompenzační obvod 16, 18 podle obr. 2 nepotřebují žádné individuální nastavení, protože je postačující u krystalů odpovídajících tolerančním mezím jednoho krystalového typu nastavit jeho prvky, nebo u digitální kompenzace jeho parametry, pouze jednou. Teplotně kompenzační obvody 16, 18 mohou být tedy vyráběny sériově. Jediné nastavení, které se provádí u každého krystalu, je určení hodnoty potenciometru 14, což lze snadno provést jediným měřením při jediné teplotě. Zjednodušením nastavení je možno v porovnání s náklady vzniklými na zdvojení kompenzačních obvodů dosáhnout značně vyšší úspory.

Na obr. 3 je společná teplotní kompenzace u oscilátorů použitých ve vysílači - přijímači radiotelefonu. V přístroji jsou jednotky 1, 2, . . . n konstruovány stejně a jsou uspořádány ve stejném krytu; liší se od sebe pouze jmenovitou frekvencí použitého krystalu. Konce prvního až N -tého potenciometru 14.1, 14.2, . . . 14.N v jednotkách jsou zapojeny paralelně mezi výstupy prvního a druhého teplotně kompenzačního obvodu 16, 18, to znamená na přívodech napětí U_1 a U_2 . Jednotky mají vždy nulovací vstup 22.1, 22.2 . . . 22.n, přičemž přístroje zajišťuje výběr právě požadovaného oscilátoru. Vysokofrekvenční výstupy oscilátorů jsou připojeny k jednotce 20 slučování výstupních signálů.

Teplotní kompenzaci n oscilátorů lze realizovat u n potenciometrů nastavením v jednom bodě, k čemuž je postačující použít pro všechny oscilátory společně jen dva teplotně kompenzační obvody 16, 18. V porovnání s individuální kompenzací se tu dosáhne nejen snížení nastavovacího času, ale i značné úspory obvodů. Počet oscilátorů n není přitom prakticky omezen.

Na obr. 4 je schéma výhodného příkladu provedení oscilátoru 10. Toto schéma je tvořeno modifikovaným Clappovým oscilátorem s prvním tranzistorem T1, přičemž zvlášť připojitelným prvkem je krystal 24, který je v sérii s nastavitelnou indukčností 26. Paralelní LC člen v emitorovém obvodu prvního tranzistoru T1 vylučuje první harmonickou, takže oscilátor kmitá na třetí harmonické krystalu 24. Druhý tranzistor T2 má za úkol oddělit výstup, zatímco třetí tranzistor T3 zajišťuje zapínání a vypínání. Napětí spínané na nulovací vstup 22 otevírá nebo zavírá třetí tranzistor T3.

Na obr. 4 znázorněný obvod lze realizovat i v integrované formě. Doladění se provádí tak,

že ve střední poloze potenciometru při teplotě 25°C , která odpovídá inflexnímu bodu, se nastaví indukčností 26 požadovaná jmenovitá frekvence, potom na jedné z mezních teplot, výhodně na horní mezní teplotě, se nastaví znovu stejná jmenovitá frekvence potenciometrem.

Je tu třeba připomenout, že kompenzace je tehdy účinná, jsou-li teplotně kompenzační obvody 16, 18 na stejné teplotě, popřípadě je mezi nimi tepelné spojení.

Na obr. 5 jsou diagramy teplota-frekvence několika oscilátorů kompenzovaných zapojením podle vynálezu. Následkem kompenzace mohla být změna frekvence snížena na méně než jednu pětinu, frekvenční změně 0,001 promile odpovídá široký teplotní rozsah (-25°C až $+80^{\circ}\text{C}$).

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1.

Zapojení pro kompenzaci teplotní závislosti krystalových oscilátorů, opatřených křemenným krystalem s rozsahem řezných úhlů ve směru AT, obsahující teplotně kompenzační obvod, který je opatřen výstupem teplotně závislého stejnosměrného napětí a je teplotně a elektricky spojen s krystalovým oscilátorem, vyznačující se tím, že je opatřeno teplotně kompenzačním obvodem (16) a druhým teplotně kompenzačním obvodem (18), přičemž výstup prvního teplotně kompenzačního obvodu (16) je připojen k prvním vstupům n lineárních interpolačních prvků (14.n), zatímco výstup druhého teplotně kompenzačního obvodu (18) je připojen ke druhým vstupům n lineárních interpolačních prvků (14.n) a výstup každého n-tého lineárního interpolačního prvku (14.n) je přes n-tý ladicí prvek (12.n) spojen s n-tým krystalovým oscilátorem (10.n), kde n je přirozené číslo v rozmezí od 1 do N.

2.

Zapojení podle bodu 1, vyznačující se tím, že n lineárních interpolačních prvků (14.n) je tvořeno potenciometry.

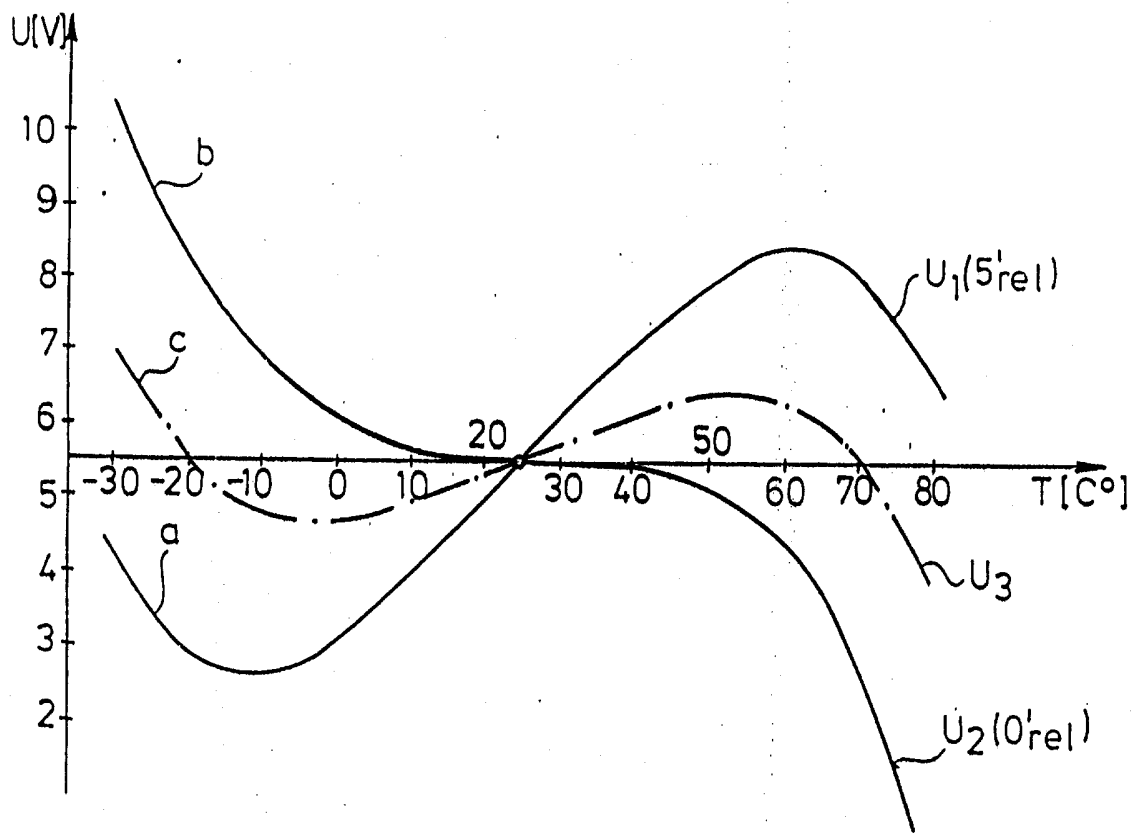
3.

Zapojení podle bodu 1 nebo 2, vyznačující se tím, že n ladicích prvků (12.n) je tvořeno kapacitními diodami.

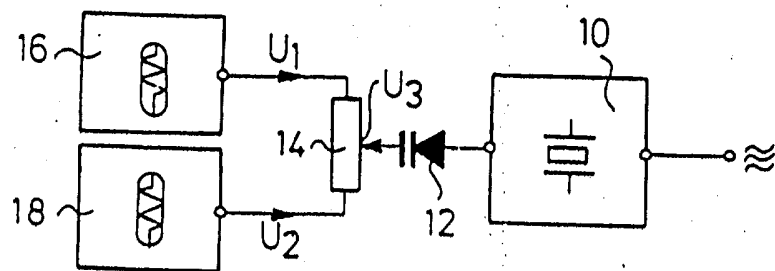
4.

Zapojení podle bodů 1 až 3, vyznačující se tím, že v n krystalových oscilátorech (10.n) jsou krystaly (24.n) zapojeny do série s nastavitelnými indukčnostmi (26.n), přičemž krystalové oscilátory (10.n) jsou naladěny na třetí harmonickou krystalů (24.n).

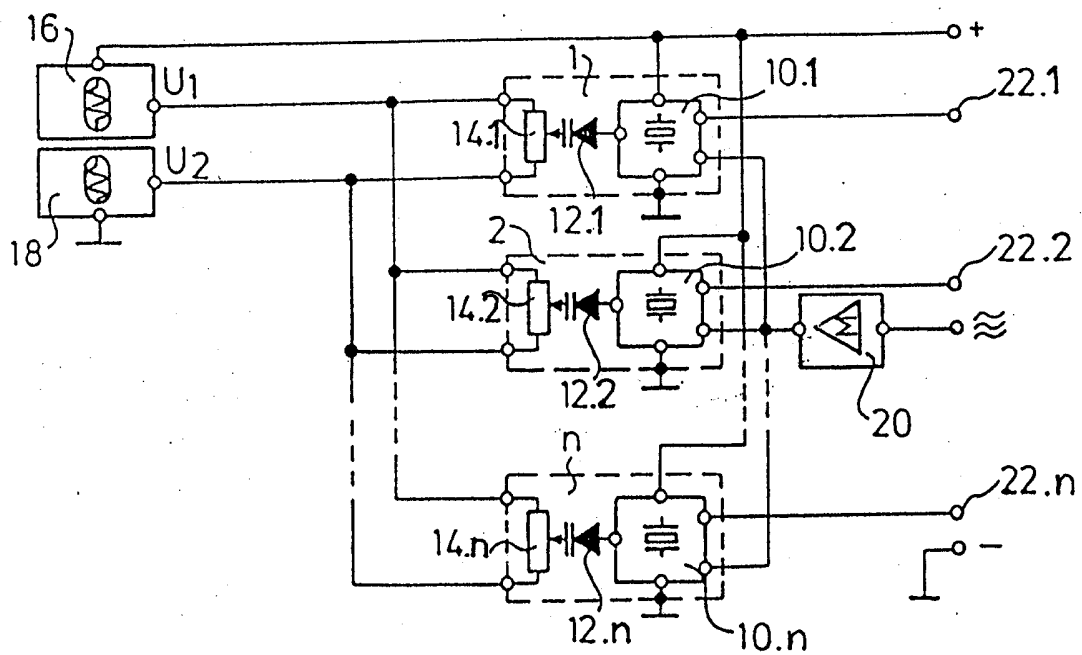
3 výkresy



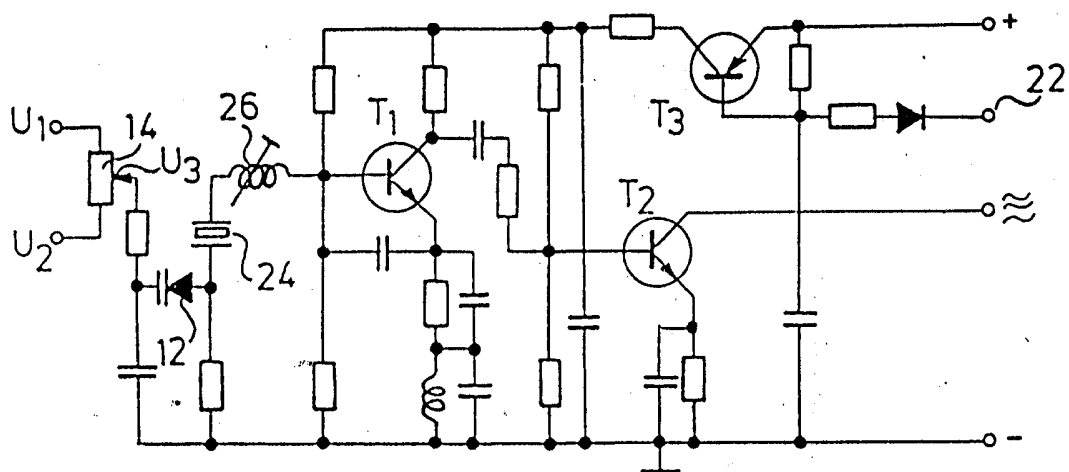
Obr. 1



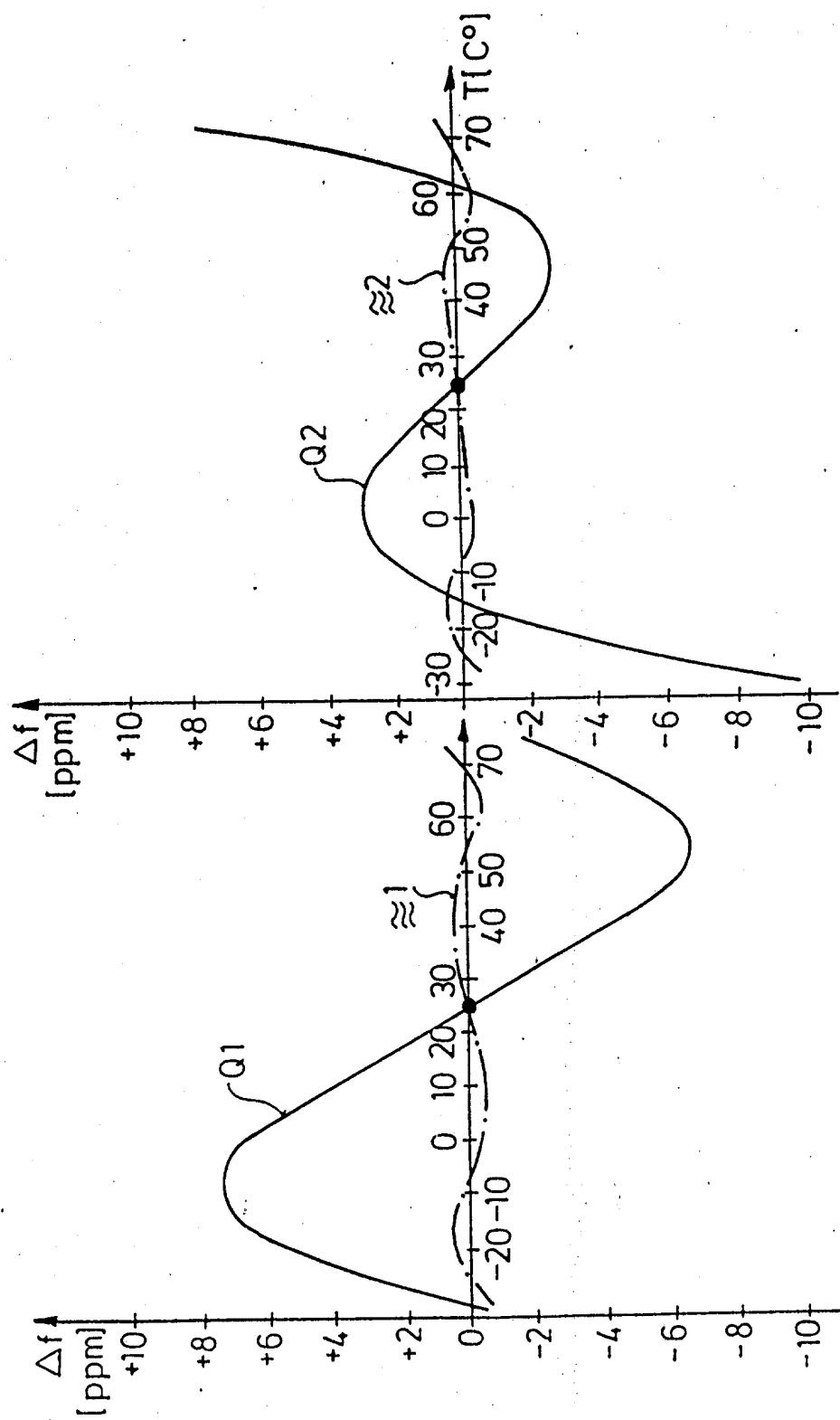
Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4



Obr. 5