



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

213 779

(11) (B1)

(61)

(23) Výstavní priorita
(22) Přihlášeno 27 11 79
(21) PV 8167-79

(51) Int. Cl.³ H 03 B 5/04

(40) Zveřejněno 15 09 81
(45) Vydáno 01 05 84

(75)
Autor vynálezu

MIHULE JIŘÍ, PRAHA

(54) Nízkofrekvenční sinusový oscilátor s rezonančním okruhem

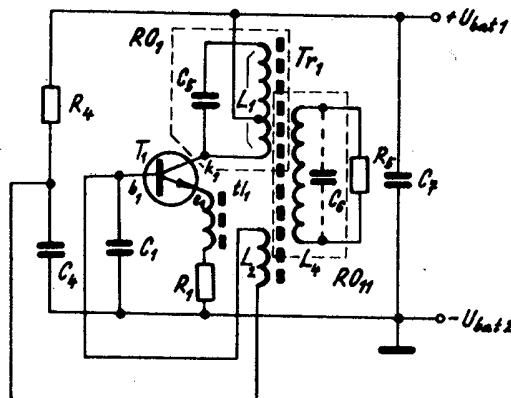
Vynález se týká nízkofrekvenčního sinusového oscilátoru s rezonančním okruhem se samočinnou regulací buzení a málo kolísajícím výstupním napětím i zkreslením, osazeného v jednočinném zapojení podle obr. 1 jedním a v dvojčinném zapojení podle obr. 2 dvěma křemíkovými tranzistory. Zesílení výkonu je umožněno paralelním propojením více stejných tranzistorů.

Vynález řeší požadavek jednoduchými prostředky navrhnout takový nízkofrekvenční sinusový oscilátor, jenž by se vyznačoval při proměnlivém zatížení pokud možno malými změnami zkreslení a výstupního napětí. Dalším požadavkem je, aby oscilátor samočinně odebíral takový proud, jaký je potřebný pro okamžité zatížení. Rovněž i při velkém poklesu napájecího napětí má oscilátor správně pracovat.

Působením rezonančního okruhu složeného z indukčnosti a kapacity vzniká za určitých podmínek deformace kolektorového proudu tranzistoru. Využitím této deformace, jiných známých vlastností tranzisto-

ru a kombinace jeho proudového i napětového buzení se vytvoří na průběhu proudu báze velké špičky. Těchto skutečností se využívá spolu s dalšími vlastnostmi ostatních obvodů oscilátoru k samočinné regulaci buzení.

213 779



Obr. 1

Vynález se týká nízkofrekvenčního sinusového oscilátoru s rezonančním okruhem se samočinnou regulací buzení a málo kolísajícím výstupním napětím i zkreslením, zejména při použití křemíkových tranzistorů v zapojení jeho obvodu.

Uvedené vlastnosti vykazují nízkofrekvenční sinusové oscilátory při různých režimech své činnosti, jako například při změnách zatížení.

Nízkofrekvenční sinusové oscilátory se používají všeobecně v široké oblasti elektrotechniky, převážně slaboproudé. V měřicí technice jsou například zdrojem signálů sinusového napětí pro můstky na měření indukčností a kapacit, pro tenzometrické můstky, pro nejružnější druhy snímačů atd.

Mezi základní požadavky, jež jsou na nízkofrekvenční sinusové oscilátory kladeny, patří především malé zkreslení sinusových signálů a jejich stabilita. Pro stabilizaci signálů těchto oscilátorů se dosud nejčastěji využívá nelineárnosti zesilovačů, nebo se používají tranzistory ve funkci spínačů. V jiném případě se využívá kombinace detekce v bázi a v kolektoru tranzistoru, nebo je regulační obvod tvořen jednou či dvěma diodami.

V praxi se často stává, že v určitém rozmezí zatížení nízkofrekvenčního sinusového oscilátoru je velikost výstupního signálu celkem stálá, ale zhoršuje se zkreslení průběhu sinusového napětí. Zároveň proudy, odebírané z napájecích zdrojů, se zpravidla v celém rozsahu zatížení mění jen málo. To všechno je způsobeno hlavně tím, že používané způsoby stabilizace neřeší samočinnou regulaci buzení příslušných oscilátorů.

Uvedené nevýhody odstraňuje nízkofrekvenční oscilátor s rezonančním okruhem se stabilizací výstupního napětí podle vynálezu, u něhož mezi jednu svorku napětí napájecího zdroje a kolektor tranzistoru je zapojen rezonanční okruh, sestávající z indukčnosti, představující primární vinutí transformátoru, a z kondenzátoru, a u něhož zpětnovazební vinutí transformátoru je zapojeno do obvodu báze tranzistoru, přičemž výstupní vinutí transformátoru je připojeno na zátěž.

Podstata vynálezu spočívá v tom, že druhá svorka napětí napájecího zdroje je jednak připojena na emitor nejméně jednoho tranzistoru přes jemu příslušný odpor a jemu příslušnou tlumivku, jednak na bázi tohoto tranzistoru přes jemu příslušný kondenzátor a jednak přes čtvrtý kondenzátor a čtvrtý odpor na první svorku napětí napájecího zdroje, který je spojen přes sedmý kondenzátor s druhou svorkou napětí napájecího zdroje, přičemž zpětnovazební vinutí jemu příslušného transformátoru je svým jedním koncem připojeno na spojnici čtvrtého kondenzátoru a čtvrtého odporu a svým druhým koncem na bázi tohoto tranzistoru.

V alternativách provedení vynálezu lze nízkofrekvenční sinusový oscilátor provést v jednočinném nebo dvojitinném zapojení a v obou případech i s užitím více stejných paralelně zapojených tranzistorů.

Výhodou je, že v celém rozsahu zatížení nízkofrekvenčního sinusového oscilátoru, to jest od maximálního až do chodu naprázdno, se samočinně udržuje správné buzení, takže zkreslení sinusového průběhu napětí se v tomto rozsahu příliš nemění. Současně se v určitém rozmezí stabilizuje i velikost výstupního napětí. Proud, odebíraný z napájecího zdroje, se nastavuje samočinně podle okamžitého zatížení. Tvar křivky proudu kolektoru se s odlehčením sice zhoršuje, ale současně se zvyšuje činitel jakosti zatíženého rezonančního okruhu

tohoto oscilátoru, čímž se vyšší harmonické kmity lépe odfiltrují, takže dochází k určité kompenzaci. Oscilátor podle vynálezu správně funguje také v širokém rozmezí napětí napájecího zdroje. Účinky vynálezu se zesilují u dvojčinného zapojení, které je sice složitější, ale dosahují se s ním zpravidla lepší parametry i při menších rozměrech transformátoru.

Příklad provedení vynálezu je znázorněn na připojených výkresech, kde představuje obr. 1 jednočinné zapojení nízkofrekvenčního sinusového oscilátoru, obr. 2 dvojčinné zapojení nízkofrekvenčního sinusového oscilátoru, obr. 3 graficky vyjádřené průběhy napětí a proudů v obvodech kolektorů tranzistorů a obr. 4 v obvodech bází tranzistorů.

Nízkofrekvenční sinusový oscilátor v jednočinném zapojení podle obr. 1 má druhou svorku napětí U_{bat2} napájecího zdroje připojenu jednak na první emitor e_1 prvního tranzistoru T_1 přes první odpor R_1 a první tlumivku tl_1 , jednak na první bázi b_1 prvního tranzistoru T_1 přes první kondenzátor C_1 , a jednak přes čtvrtý kondenzátor C_4 a čtvrtý odpor R_4 na první svorku U_{bat1} napětí napájecího zdroje, který je spojen přes sedmý kondenzátor C_7 s druhou svorkou U_{bat2} , zatímco první zpětnovazební vinutí L_2 prvního transformátoru Tr_1 je svým jedním koncem připojeno na spojnici čtvrtého kondenzátoru C_4 a čtvrtého odporu R_4 a svým druhým koncem na první bázi b_1 prvního tranzistoru T_1 , přičemž při použití více prvních tranzistorů T_1 jsou jejich sobě příslušné první kolektory k_1 , první báze b_1 a první emitory e_1 paralelně propojeny.

Nízkofrekvenční sinusový oscilátor v dvojčinném zapojení podle obr. 2 má připojenu druhou svorku napětí U_{bat2} jednak na druhý emitor e_2 druhého tranzistoru T_2 přes druhý odpor R_2 a druhou tlumivku tl_2 , a na třetí emitor e_3 třetího tranzistoru T_3 přes třetí odpor R_3 a třetí tlumivku tl_3 , jednak na druhou bázi b_2 druhého tranzistoru T_2 a druhý kondenzátor C_2 , a na třetí bázi b_3 třetího tranzistoru T_3 přes třetí kondenzátor C_3 , a jednak přes čtvrtý kondenzátor C_4 a čtvrtý odpor R_4 na první svorku U_{bat1} napětí napájecího zdroje, který je spojen přes sedmý kondenzátor C_7 s druhou svorkou U_{bat2} , přičemž druhé zpětnovazební vinutí L_{12} druhého transformátoru Tr_{11} je svým druhým koncem připojeno na druhou bázi b_2 druhého tranzistoru T_2 a svým jedním koncem na spojnici čtvrtého kondenzátoru C_4 a čtvrtého odporu R_4 společně s jedním koncem třetího zpětnovazební vinutí L_{13} druhého transformátoru Tr_{11} , které je svým druhým koncem připojeno na třetí bázi b_3 třetího tranzistoru T_3 , přičemž při použití více druhých tranzistorů T_2 a více třetích tranzistorů T_3 je jejich počet v obou případech stejný a jejich sobě příslušné vícenásobné druhé kolektory k_2 a třetí kolektory k_3 , druhé báze b_2 a třetí báze b_3 , a druhé emitory e_2 a třetí emitory e_3 jsou paralelně propojeny.

Na obr. 3 jsou nad osou x a vpravo od osy y , kteréžto osy x , y se protínají v počátku M , znázorněny výstupní charakteristiky prvního tranzistoru T_1 , druhého tranzistoru T_2 a třetího tranzistoru T_3 . Každá křivka výstupní charakteristiky vycházející z počátku M platí pro konstantní proud I_{b1} první báze b_1 , pro konstantní proud I_{b2} druhé báze b_2 a pro konstantní proud I_{b3} třetí báze b_3 . Do těchto výstupních charakteristik jsou zakresleny pracovní přímky A-B a A-C, platící pro stav zatížení. Plnou čarou je znázorněn příslušný časový průběh napětí U_{ke1} mezi prvním kolektorem k_1 , a prvním emitorem e_1 napětí U_{ke2} mezi druhým kolektorem k_2 a druhým emitorem e_2 , a napětí U_{ke3} mezi třetím kolektorem k_3 a

třetím emitorem e_3 pod osou x , a odpovídající časový průběh proudu I_{k1} prvního kolektoru k_1 , proudu I_{k2} druhého kolektoru k_2 , a proudu I_{k3} třetího kolektoru k_3 vlevo od osy y . Směrem vlevo a dolů od počátku M (respektive N u obr. 4) se na osy x , y (respektive na osy u , v u obr. 4) nanáší čas t . Pracovní přímký D-E a D-F platí pro stav odlehčení a všechny tomu příslušné průběhy napětí U_{ke1} , U_{ke2} a U_{ke3} a proudu I_{k1} , I_{k2} a I_{k3} jsou nakresleny čárkovanou čarou.

Na obr. 4 je nad osou u a vpravo od osy y nakreslena vstupní charakteristika prvního tranzistoru T_1 , druhého tranzistoru T_2 a třetího tranzistoru T_3 , jejíž část, představená úsekem křivky N-G se využívá při zatížení. Příslušný průběh napětí U_{be1} mezi první bází b_1 a prvním emitorem e_1 , napětí U_{be2} mezi druhou bází b_2 a druhým emitorem e_2 , a napětí U_{be3} mezi třetí bází b_3 a třetím emitorem e_3 je pod osou u a odpovídající průběh proudu I_{b1} první báze b_1 , proudu I_{b2} druhé báze b_2 , a proudu I_{b3} třetí báze b_3 je znázorněn vlevo od osy v plnou čarou. Další část charakteristiky, představované úsekem křivky N-G-H, potom platí pro odlehčený stav, a příslušné průběhy napětí U_{be1} , U_{be2} a U_{be3} a proudů I_{b1} , I_{b2} a I_{b3} jsou nakresleny čárkovanou čarou.

Nízkofrekvenční sinusový oscilátor v jednočinném zapojení podle obr. 1 pracuje následovně za předpokladu, že první transformátor Tr_1 má vhodnou velikost, jeho první rezonanční okruh RO_1 , sestávající z prvního primárního vinutí L_1 a pátého kondenzátoru C_5 , má potřebný činitel jakosti při zatížení, a první primární vinutí L_1 a první zpětnovazební vinutí L_2 , a první výstupní vinutí L_4 jsou správně navržena. Z konstrukčních důvodů bývá první rezonanční okruh RO_1 zapojen do obvodu jen částí prvního primárního vinutí L_1 . Je-li to výhodné, může být vytvořen alternativní první rezonanční okruh RO_{11} prvním výstupním vinutím L_4 a šestým kondenzátorem C_6 , jehož zapojení je naznačeno čárkovane. Z hlediska většího výkonu může být místo jednoho prvního tranzistoru T_1 zapojeno paralelně i více stejných prvních tranzistorů T_1 . Ostatní součásti musí mít rovněž správné hodnoty včetně zatěžovacího odporu R_5 , představujícího jmenovité zatížení. Dále se předpokládá, že oscilátor podle vynálezu pracuje v takovém režimu, kdy proud I_{k1} má tvar celé sinusovky s mírným omezením na jejích vrcholech. To je stav tak zvaného mírného přebuzení. Vlivem působení prvního rezonančního okruhu RO_1 , který při proudovém buzení udržuje sinusové napětí, dochází na horním vrcholu v oblasti saturace k mírnému poklesu proudu I_{k1} podle obr. 3, kde jsou znázorněny plnými čarami průběh napětí U_{ke1} , U_{ke2} a U_{ke3} , což je vlastně průběh na příslušné části prvního primárního vinutí L_1 , a průběh proudu I_{k1} , I_{k2} a I_{k3} s pracovními přímkami A-B a A-C. V obvodu prvního emitoru e_1 je kromě první tlumivky tl_1 zapojen první odpor R_1 , na němž se vytvoří průchodem proudu I_{e1} prvního emitoru e_1 i shodný průběh napětí. Průběh proudu I_{e1} prvního emitoru e_1 se rovná přibližně průběhu proudu I_{k1} prvního kolektoru k_1 a obdobně tak průběhy proudu I_{e2} druhého emitoru e_2 a proudu I_{e3} třetího emitoru e_3 se rovnají přibližně průběhům proudů I_{k2} a I_{k3} .

Průběhem stejnosměrné složky proudu I_{b1} první báze b_1 vzniká na čtvrtém odporu R_4 úbytek napětí, který se odečítá od napětí napájecího zdroje a rozdíl se ustálí na čtvrtém kondenzátoru C_4 . Toto napětí je vlastně stejnosměrným předpětím, jež se sčítá se sinusovým napětím prvního zpětnovazební vinutí L_2 . První kondenzátor C_1 a první tlumivka tl_1 zabra-

ňují pouze vzniku parazitních oscilací. Vlivem záporné zpětné vazby, zavedené prvním odporem R_1 do prvního emitoru e_1 , je po většinu doby jednoho cyklu první tranzistor T_1 buzen proudově. Následkem toho má proud I_{b1} první báze b_1 stejně jako proud I_{k1} prvního kolektoru k_1 po tuto dobu zhruba sinusový průběh. Zmíněná úvaha však neplatí pro časový interval, kdy proud I_{k1} nemůže už vzrůstat. V tom okamžiku přestává působit záporná zpětná vazba a první tranzistor T_1 je buzen napětově. Vzhledem k tomu, že napětí na prvním odporu R_1 se právě v tomto časovém intervalu t_1 podle obr. 3 poněkud zmenšilo, působí na první tranzistor T_1 o něco větší napětí. Jelikož vstupní charakteristika křemíkového prvního tranzistoru T_1 je silně nelineární, stačí jen mírně zvětšené napětí k tomu, aby se na průběhu proudu I_{b1} první báze b_1 vytvořila značná špička podle obr. 4, kde jsou znázorněny plnými čarami průběh napětí U_{be1} , U_{be2} a U_{be3} a průběh proudů I_{b1} , I_{b2} a I_{b3} s částí křivky N-G vstupní charakteristiky prvního tranzistoru T_1 . Tato špička nemůže mít žádný vliv na průběh proudu I_{k1} prvního kolektoru k_1 . Zato se však využívá střední hodnoty proudu I_{b1} k získávání samočinného předpětí.

Jestliže se nyní oscilátor v jednočinném zapojení podle obr. 1 odlehčí, zvýší se především napětí na prvním rezonančním okruhu RO_1 a následkem toho se zvětší deformace také na horním vrcholu křivky proudu I_{k1} . Tím se špička na průběhu proudu I_{b1} zvětší. Rovněž se zvětší úbytek napětí na čtvrtém odporu R_4 , a na čtvrtém kondenzátoru C_4 se ustálí menší předpětí. Pracovní bod prvního tranzistoru T_1 se posune a střední hodnota proudu I_{k1} se zmenší, jak je znázorněno čárkovaně v obr. 3 přímkami D-E a D-F pro průběh napětí U_{ke1} , U_{ke2} a U_{ke3} a pro průběh proudů I_{k1} , I_{k2} a I_{k3} , a v obr. 4 křivkou N-G-H pro průběh napětí U_{be1} , U_{be2} a U_{be3} a pro průběh proudů I_{b1} , I_{b2} a I_{b3} . Tím se samočinně zmenší napětí na prvním rezonančním okruhu RO_1 a tedy i na prvním výstupním vinutí L_4 .

Ustálený stav nastane, jakmile střední hodnota proudu I_{k1} postačí krýt užitečný výkon i veškeré ztráty a to při mírném přebuzení oscilátoru, jež souvisí s počátečním nastavením. Časová konstanta tohoto přechodného děje je dána hlavně hodnotami čtvrtého odporu R_4 a čtvrtého kondenzátoru C_4 .

Proud I_{k1} prvního kolektoru k_1 může mít v jednotlivých případech při jmenovité zátěži též tvar sinusovky buď dole více seříznuté, nebo pouze její horní poloviny, případně jen části horní poloviny, ale ve všech případech s deformací na horním vrcholu.

Nízkofrekvenční sinusový oscilátor ve dvojčinném zapojení podle obr. 2 pracuje následovně. Použitý druhý transformátor Tr_{11} , opět s patřičnými parametry, je opatřen druhým primárním vinutím L_{11} , druhým zpětnovazebním vinutím L_{12} , třetím zpětnovazebním vinutím L_{13} a druhým výstupním vinutím L_{14} . Je-li to výhodné, může být druhý rezonanční okruh RO_2 , sestávajícího z primárního vinutí L_{11} a osmého kondenzátoru C_{15} , zase nahrazen alternativním druhým rezonančním okruhem RO_{22} , sestávajícím z druhého výstupního vinutí L_{14} a devátého kondenzátoru C_{16} . Místo jednoho druhého tranzistoru T_2 a jednoho třetího tranzistoru T_3 může být paralelně zapojen stejný počet více stejných druhých tranzistorů T_2 a třetích tranzistorů T_3 . Předpokládá se, že všechny ostatní součásti obvodu mají správné hodnoty a že zatěžovací odpor R_2 představuje jmenovitou zátěž. Oscilátor pracuje ve stejném režimu jako v jednočinném zapojení, to znamená, že oba proudy I_{k2} a I_{k3} mají tvar přibližně celé si-

usovky, ale jsou o $1/2$ cyklu vzájemně posunuty, a jejich účinek se sčítá. Průběh napětí na druhém odporu R_2 s deformací na horním vrcholu je zase o $1/2$ cyklu posunut vůči stejnému průběhu na třetím odporu R_3 . Stejnoseměrné předpětí je jen jedno, vzniká stejným způsobem jako u jednočinného zapojení a sčítá se s napětími druhého zpětnovazebního vinutí L_{12} a třetího zpětnovazebního vinutí L_{13} . Druhý kondenzátor C_2 a třetí kondenzátor C_3 a druhá tlumivka tl_2 a třetí tlumivka tl_3 brání vzniku parazitních oscilací. Vlastní buzení probíhá principiálně stejně, shodné průběhy proudů I_{b2} a I_{b3} jsou jen o $1/2$ cyklu vzájemně posunuty. Při odlehčení se zvětší deformace na horních vrcholech obou proudů I_{k2} a I_{k3} a tím se zvětší i špičky obou průběhů proudů I_{b2} a I_{b3} . Zvětší se úbytek napětí na společném čtvrtém kondenzátoru C_4 se ustálí společné menší předpětí. Pracovní body druhého tranzistoru T_2 a třetího tranzistoru T_3 se posunou a jejich střední hodnoty proudů I_{k2} a I_{k3} se zmenší. Tím se také zmenší napětí na společném druhém rezonančním okruhu RO_2 a na druhém výstupním vinutí L_{14} . Ustálený stav nastane za stejných podmínek, jako u jednočinného zapojení.

Proudy I_{k2} a I_{k3} ve tvaru celé sinusovky se však u dvojčinných zapojení zpravidla nepoužívají. Výhodnější jsou totiž tvary buď horní poloviny sinusovky nebo jen části její horní poloviny, vždy s deformacemi na horních vrcholech. V těchto případech mohou být druhý emitor e_2 a třetí emitor e_3 spojeny, druhá tlumivka tl_2 a třetí tlumivka tl_3 nahrazeny jednou tlumivkou a druhý odpor R_2 a třetí odpor R_3 nahrazeny jen jedním odporem.

Nízkofrekvenční sinusové oscilátory podle vynálezu mají širokou oblast uplatnění v měřicí technice, v regulační, nahrávací, zvukové, modulační a vysílací technice, v telefonii.

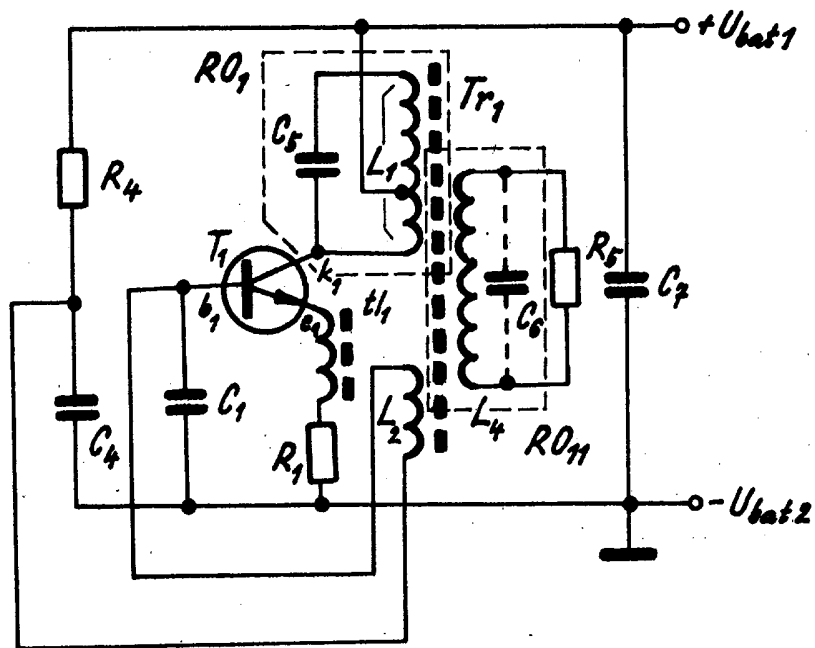
P R Ě D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Nízkofrekvenční sinusový oscilátor s rezonančním okruhem se stabilizací výstupního napětí, u něhož mezi jednu svorku napětí napájecího zdroje a kolektor tranzistoru je zapojen rezonanční okruh, sestávající z indukčnosti, představující primární vinutí transformátoru, a z kondenzátoru, a u něhož zpětnovazební vinutí transformátoru je zapojeno do obvodu báze tranzistoru, přičemž výstupní vinutí transformátoru je připojeno na zátěž, vyznačený tím, že druhá svorka (U_{bat2}) napětí napájecího zdroje je jednak připojena na emitor nejméně jednoho tranzistoru přes jemu příslušný odpor a jemu příslušnou tlumivku, jednak na bázi tohoto tranzistoru přes jemu příslušný kondenzátor, a jednak přes čtvrtý kondenzátor (C_4) a čtvrtý odpor (R_4) na první svorku (U_{bat1}) napětí napájecího zdroje, který je spojen přes sedmý kondenzátor (C_7) s druhou svorkou (U_{bat2}) napětí napájecího zdroje, přičemž zpětnovazební vinutí jemu příslušného transformátoru je svým jedním koncem připojeno na spojnici čtvrtého kondenzátoru (C_4) a čtvrtého odporu (R_4) a svým druhým koncem na bázi tohoto tranzistoru.

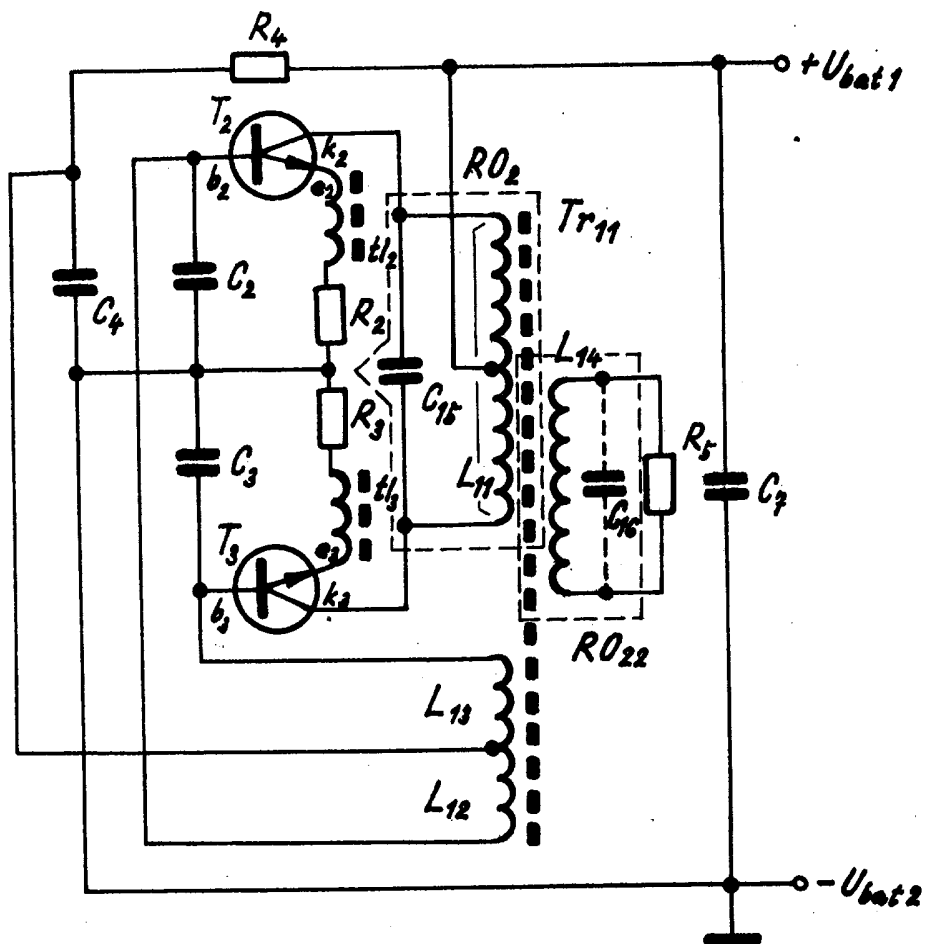
2. Nízkofrekvenční sinusový oscilátor podle bodu 1, vyznačený tím, že u jednočinného zapojení je druhá svorka (U_{bat2}) napětí napájecího zdroje připojena na první emitor (e_1) prvního tranzistoru (T_1) přes první odpor (R_1) a první tlumivku (tl_1), a na první bázi (b_1)

prvního tranzistoru (T_1) přes první kondenzátor (C_1), zatímco první zpětnovazební vinutí (L_2) prvního transformátoru (Tr_1) je svým jedním koncem připojeno na spojnici čtvrtého kondenzátoru (C_4) a čtvrtého odporu (R_4) a svým druhým koncem na první bázi (b_1) prvního tranzistoru (T_1), přičemž při použití více prvních tranzistorů (T_1) jsou jejich sobě příslušné první kolektory (k_1), první báze (b_1) a první emitory (e_1) paralelně propojeny.

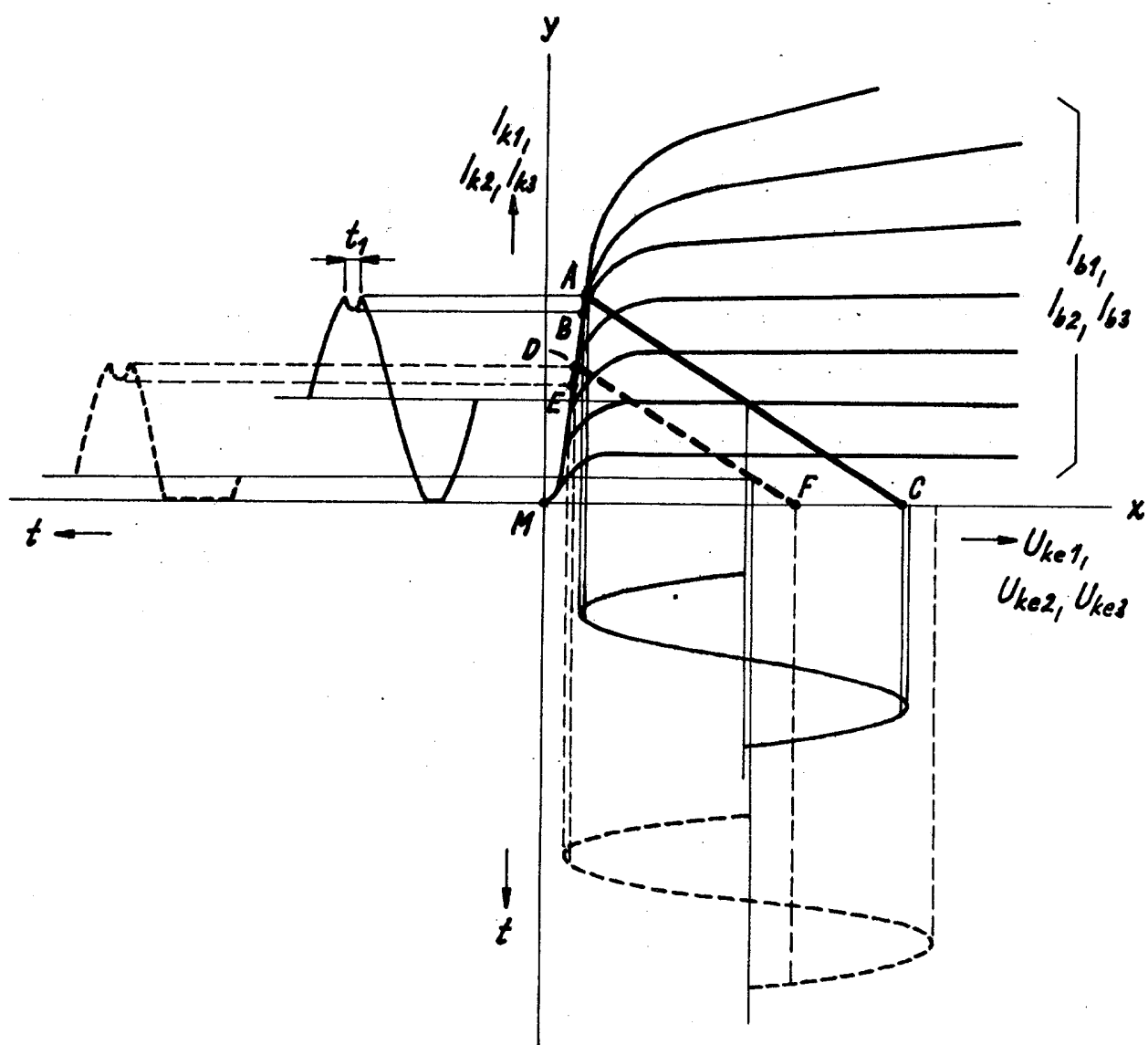
3. Nízkofrekvenční sinusový oscilátor podle bodu 1, vyznačený tím, že u dvojčinného zapojení je druhá svorka (U_{bat2}) napětí napájecího zdroje jednak připojena na druhý emitor (e_2) druhého tranzistoru (T_2) přes druhý odpor (R_2) a druhou tlumivku (tl_2), a na třetí emitor (e_3) třetího tranzistoru (T_3) přes třetí odpor (R_3) a třetí tlumivku (tl_3), a jednak na druhou bázi (b_2) druhého tranzistoru (T_2) přes druhý kondenzátor (C_2), a na třetí bázi (b_3) třetího tranzistoru (T_3) přes třetí kondenzátor (C_3), přičemž druhé zpětnovazební vinutí (L_{12}) druhého transformátoru (Tr_{11}) je svým druhým koncem připojeno na druhou bázi (b_2) druhého tranzistoru (T_2) a svým jedním koncem na spojnici čtvrtého kondenzátoru (C_4) a čtvrtého odporu (R_4) společně s jedním koncem třetího zpětnovazební vinutí (L_{13}) druhého transformátoru (Tr_{11}), které je svým druhým koncem připojeno na třetí bázi (b_3) třetího tranzistoru (T_3), přičemž při použití více druhých tranzistorů (T_2) a více třetích tranzistorů (T_3) je jejich počet v obou případech stejný a jejich sobě příslušné vícenásobné druhé kolektory (k_2) a třetí kolektory (k_3), druhé báze (b_2) a třetí báze (b_3), a druhé emitory (e_2) a třetí emitory (e_3) jsou paralelně propojeny.



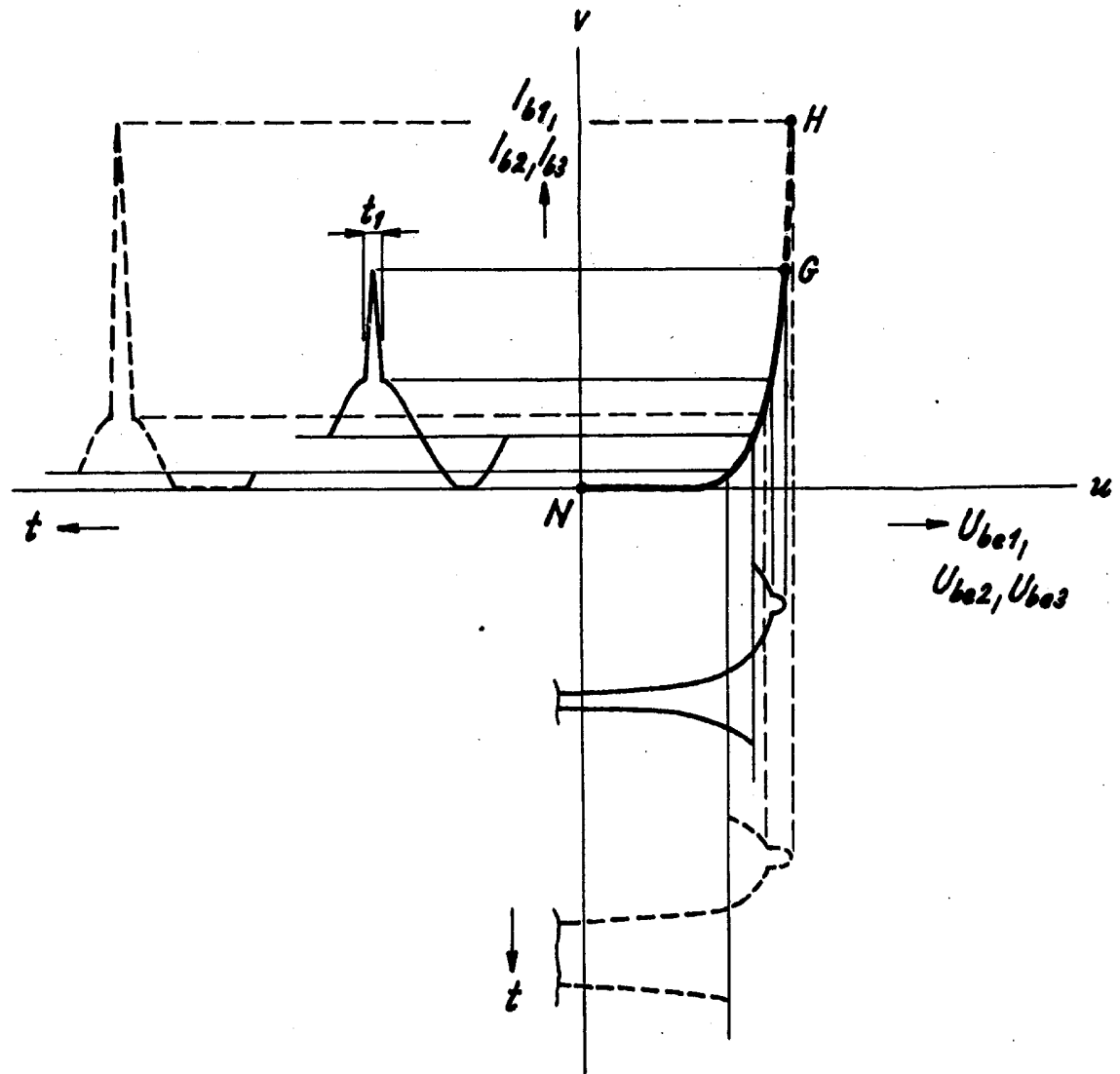
Obr. 1



Obr. 2



Obr. 3



Obr. 4