

FEDERÁLNÍ ÚRAD
PRO VYNÁLEZY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

269 977

(11)

(13) B2

(51) Int. Cl.⁴
H 03 C 3/38

(21) PV 77-86.L
(22) Přihlášeno 03 01 86
(30) Právo přednosti od 14 02 85 CH (671/85-0)

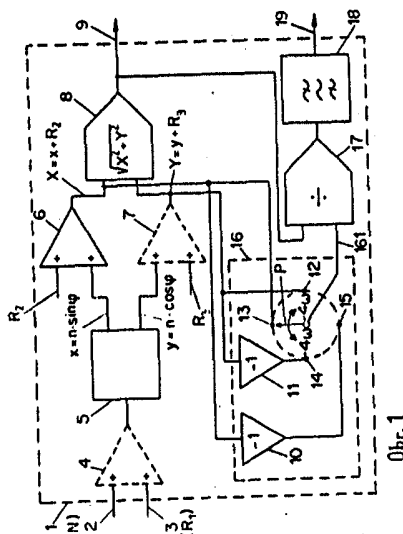
(40) Zveřejněno 12 09 89
(45) Vydáno 19 02 91

(72) Autor vynálezu GAUTSCHI MAX dr., ZÜRICH (CH)

(73) Majitel patentu BBC AKTIENGESELLSCHAFT BROWN, BOVERI & CIE,
BADEN (CH)

(54) Modulátor s jedním postranním pásmem

(57) U řešeného modulátoru s jedním postranním pásmem se dodává pro vysoce výkonovou vysílací elektronku amplitudový a fázový signál. Oba signály se vytvářejí pomocí Hilbertova transformátoru, amplitudového sumátoru, cyklického spínače a děličky bez toho, že by se nejdříve vytvořil signál postranního pásma. Navržená konstrukce je jednoduchá a má zvýšenou provozní spolehlivost.



Vynález se týká modulátoru s jedním postranním pásmem s fázovým děličem, který rozštěpuje modulující vstupní signál ve více složkových signálů, které mají navzájem pevný fázový vztah $360^\circ/m$, kde $m \geq 2$ celočíselné.

Z knihy Příručka vysokofrekvenční techniky, autor H. Meinke a F.W.Gundlach, vydalo nakladatelství Springer-Verla Berlin/Heidelberg/New York 1968 str. 1323 až 1325 je znám modulátor s jedním postranním pásmem pro velký kmitočtový rozsah nosného kmitočtu a široké nízkofrekvenční pásmo, u kterého jsou pro oba kmitočtové rozsahy uspořádány fázové děliče, které vytvářejí o 90° fázově posunuté složkové signály. Tyto složkové signály jsou přiváděny dvěma kruhovým modulátorům, které řídí tři koncové zesilující elektronky. Nevýhodné přitom je to, že jsou potřebné tři elektronky, které se musí provozovat v jejich lineárním rozsahu, to znamená v A nebo B provozu.

Z evropského pat. spisu č. 112 410 je dále znám takový modulátor s jedním postranním pásmem, který vytváří signál postranního pásma malého výkonu a tento signál potom rozkládá v modulátorový amplitudový signál a v modulátorový fázový signál.

Amplitudový signál se potom výkonově zesílí, například pomocí číslicového spínacího zesilovače a fázový signál se převede do požadovaného kmitočtového rozsahu. Takto zpracované signály se nakonec přivedou k jediné vysokovýkonové vysílací elektronce, kde se opět spojí v jeden signál postranního pásma.

Nevýhodou přitom jsou vysoké náklady, které je třeba vynaložit nejprve na generování úplného signálu jednostranného pásma a potom opět na jeho rozložení.

Okolem vynálezu tudíž je, vytvořit modulátor s jedním postranním pásmem, který dodává přímo amplitudové a fázové signály bez toho, že by se musel nejdříve vytvořit oklikou signál jednostranného pásma a nato by se musel rozložit.

Tento úkol se u modulátoru s jedním postranním pásmem shora uvedeného druhu řeší podle vynálezu tím, že sestává z Hilbertova transformátoru s jedním vstupem a dvěma výstupy, z amplitudového sumátoru se dvěma vstupy a jedním výstupem, z cyklického spínače se čtyřmi vstupy a jedním výstupem, z děličky se dvěma vstupy a jedním výstupem a z pásmové propusti s jedním vstupem a jedním výstupem, přičemž vstup Hilbertova transformátoru je spojen se vstupem modulátoru s jedním postranním pásmem, první výstup Hilbertova transformátoru je spojen s prvním vstupem amplitudového sumátoru a dvěma vstupy cyklického spínače, druhý výstup Hilbertova transformátoru je spojen s druhým vstupem amplitudového sumátoru a s druhými dvěma vstupy cyklického spínače, výstup amplitudového sumátoru je spojen s prvním výstupem modulátoru s jedním postranním pásmem a s prvním vstupem děličky, výstup cyklického spínače je spojen s druhým vstupem děličky, výstup děličky je spojen se vstupem pásmové propusti, a výstup pásmové propusti je spojen s druhým výstupem modulátoru s jedním postranním pásmem.

Dalším význakem vynálezu je, že přídatně na výstup Hilbertova transformátoru je připojen součtový člen.

Rozvinutí vynálezu spočívá rovněž v tom, že přídatně na vstup Hilbertova transformátoru je připojen součtový člen.

Posledním význakem vynálezu pak je, že je vytvořen jako číslicový a na jeho vstup je připojen analogo-číslcový převodník.

Výhodnost řešení podle vynálezu spočívá v tom, že v rozsahu malých signálů odpadají nákladné a často chybně pracující stupně pro tvoření a rozkládání signálu postranního pásma. Další výhodou je, že stávající rozhlasové vysílače je možno s modulátorem s jedním postranním pásmem podle vynálezu velmi lehce přestavět a nastavit na provoz s jedním postranním pásmem a že modulátor s jedním postranním pásmem podle vynálezu se může jednoduchým způsobem vyrobit v číslicové verzi.

Další výhoda u řešení podle vynálezu spočívá v tom, že s použitím modulačního spínacího zesilovače s pulzní stupňovou modulací může se u rozhlasového vysílače dosáhnout vysoký stupeň účinnosti u modulátoru a také zlepšené celkové účinnosti u modulační s jedním postranním pásmem. Protože modulační spínací zesilovač vykazuje daleko menší ztráty nežli srovnatelná modulační elektronka, dostává se vysoká celková účinnost vysílače. Zvýšené náklady na obvodovou techniku pro modulační spínací zesilovač se rychle vrátí v důsledku nepatrné spotřeby proudu. Modulační spínací zesilovač je prostorově nenáročný a má nepatrné provozní náklady, neboť odpadají náklady na výměru elektronek.

Vynález bude v dalším textu blíže vysvětlen na příkladech provedení, znázorněných na připojených výkresech.

Na obr. 1 je znázorněn modulátor s jedním postranním pásmem.

Na obr. 2 je znázorněno zjednodušené principiální schéma rozhlasového vysílače s jedním modulátorem s jedním postranním pásmem podle obr. 1 v číslicové verzi.

Na obr. 3 je znázorněno zjednodušené principiální schéma rozhlasového vysílače s modulátorem s jedním postranním pásmem podle obr. 1 v analogovém provedení.

Na obr. 1 má modulátor 1 s jedním postranním pásmem první vstup 2 pro modulující nízkofrekvenční signál, resp. vstupní signál N, který je závislý na čase t a součtový člen 4, kterému je přes druhý vstup 3 přiváděn zbytkový nosný signál R₁.

Výstup součtového členu 4 je spojen se vstupem fázového oddělovače resp. Hilbertova transformátoru 5, který rozštěpuje vstupní signál ve více složkových signálů, které mají navzájem pevný fázový vztah. Ve znázorněném příkladu se vstupní signál N, z důvodu přehlednosti bez zbytkového nosného signálu R₁, štěpí ve dva o 90° fázově posunuté složkové signály,

$$x(t) = n(t) \cdot \sin \psi(t) \quad \text{a} \quad y(t) = n(t) \cdot \cos \psi(t),$$

jejichž součet odpovídá původnímu signálu $N(t)$. Přitom je $n(t)$ vrcholová hodnota a $\psi(t)$ fázový úhel $x(t)$, Hilbertovy transformátory jsou známy z: Electronic Design 19, září 13, 1976, str. 90 - 94 a z AEU - Archiv für Elektronik und Uebertragungstechnik 36 (1982) sešit 7/8 str. 304 až 310.

Složkový signál x se přivádí součtovému vstupu součtového členu 6 a složkový signál y součtovému vstupu dalšího součtového členu 7. Druhému součtovému vstupu součtového členu 6 se přivádí zbytkový nosný signál R₂ a druhému součtovému vstupu součtového členu 7 se přivádí zbytkový nosný signál R₃.

Zbytkové nosné signály R₁, R₂, R₃ jsou konstantní. Jestliže se zbytkový nosný signál R₁ přivede prostřednictvím součtového členu 4 nízkofrekvenčnímu vstupnímu signálu $N(t)$, pak součtové členy 6 a 7 odpadají. Na druhé straně postačí, jestliže se zbytkový nosný signál R₂ přivede jen jednomu složkovému signálu, například x, prostřednictvím součtového členu 6, potom může součtový člen 4 a případně také součtový člen 7 odpadnout.

Součtový člen 6 dodává na svém výstupu součtový signál $X(t) = x(t) + R_2$, který se přivede prvnímu vstupu amplitudového sumátoru 8. Součtový člen 7 dodává na výstupu součtový signál $Y(t) = y(t) + R_3$, který se přivede třetímu vstupu amplitudového sumátoru 8. V amplitudovém sumátoru 8 se vstupní signály $X(t)$ a $Y(t)$ umocňují na druhou, tyto mocniny se sčítají a ze součtu mocnin se zjišťují kořeny, resp. zjišťuje odmocnina, takže na výstupu amplitudového sumátoru 8 a současně na prvním výstupu 9 modulátoru 1 s jedním postranním pásmem je k dispozici modulátorový amplitudový signál $Z(t) = \sqrt{X^2(t) + Y^2(t)}$, který nevykazuje fázový podíl.

Součtový signál X je dále přiváděn jednak přímo spínacímu kontaktu 13 cyklického spínače 16 a jednak prostřednictvím invertoru 10 spínacímu kontaktu 15 cyklického spínače 16,

přičemž spínací kontakt 15 je vůči spínacímu kontaktu 13 přesazen o 180° .

Součtový signál Y je dále jednak přímo spojen se spínacím kontaktem 12 cyklického spínače 16 a jednak přes invertor 11 se spínacím kontaktem 14 cyklického spínače 16, přičemž spínací kontakt 14 je vůči spínacímu kontaktu 12 přesazen o 180° a spínací kontakt 12 je oproti spínacímu kontaktu 13 přesazen o 90° .

Šipkou P naznačené spojení spínacího kontaktu 13 s výstupem 161 cyklického spínače 16 rotuje při použití dolního postranního pásma ve smyslu hodinových ruček, to znamená, že výstup 161 se postupně spojuje se spínacími kontakty 12, 15, 14, 13, 12 atd. Při použití horního postranního pásma rotuje spínací spojení proti smyslu hodinových ruček navzájem za sebou přes spínací kontakty 14, 15, 12 atd. Rotační frekvence je rovna taktovací frekvenci $f_T = 100$ kHz, odpovídající 4-násobku kruhového kmitočtu nosného signálu s nosným kmitočtem $f_1 = 25$ kHz. Cyklický spínač 16 je elektronický spínač bez rotačních částí. Touto rotační frekvencí se dostane na výstupu 161, za předpokladu, že nebyl přiřazen žádný zbytkový nosný signál R_1 , nebo R_2 nebo R_3 , vzorkovací signál $n(t_i) \cdot \cos(\omega t_i \pm \psi(t_i))$, přičemž znaménko $\pm$ platí pro horní postranní pásmo a znaménko $-$ pro dolní.

Za předpokladu: $R_1 = 0$, $R_2 \neq 0$, $R_3 = 0$ platí pro horní postranní pásmo a spínací kontakty 12 až 14;

$$12; n(t_1) \cdot \cos \psi(t_1) + 0 = n(t_1) \cdot \cos \psi(t_1) + R_2 \cdot \sin(\omega t_1),$$

$$13; n(t_2) \cdot \sin \psi(t_2) + R_2 = n(t_2) \cdot \sin \psi(t_2) + R_2 \cdot \sin(\omega t_2),$$

$$14; -n(t_3) \cdot \cos \psi(t_3) + 0 = -n(t_3) \cdot \cos \psi(t_3) + R_2 \cdot \sin(\omega t_3).$$

$$15; -n(t_4) \cdot \sin \psi(t_4) - R_2 = -n(t_4) \cdot \sin \psi(t_4) + R_2 \cdot \sin(\omega t_4)$$

$$= n(t_i) \cdot \cos(\omega t_i + \psi(t_i)) + R_2 \cdot \sin(\omega t_i),$$

Právě uvedené rovnice jsou lehce srozumitelné, jestliže se za t_i postupně dosazují hodnoty 0 , $\pi/2$, π a $3\pi/2$.

Vzorkovací signál na výstupu cyklického spínače 16 se přivede obvodu pro tvoření podílu, resp. děliče 17 jako dělenec a modulátorový amplitudový signál $Z(t)$ z výstupu amplitudového sumátoru 8 jako dělitel. Na výstupu děličky 17 dostane se podílový signál, který je fázově a nikoliv amplitudově závislý $= \cos(\omega t_i \pm \psi(t_i))$.

Časově diskretní výstupní signál děličky 17 se přivádí pásmové propusti 18, na jejímž výstupu a tím i na druhém výstupu 19 modulátoru 1 s jedním postranním pásmem je nepřerušovaný modulátorový fázový signál, přičemž nežádoucí vedlejší kmitočty se odfiltrují pásmovou propustí 18. Pásmová propust 18 je dimenzovaná pro 75 kHz, to znamená obrazová vzhledem k 50 kHz (Nyquistův kmitočet ke kmitočtu nosného signálu 25 kHz).

Důležité je, aby modulátor s jedním postranním pásmem vytvářel z nízkofrekvenčního signálu okamžitý vysokofrekvenční fázový signál a okamžitou amplitudovou hodnotu tak, že součin obou těchto signálů vytváří s jedním postranním pásmem modulovaný signál. Součin se vytváří ve vysokofrekvenčním koncovém stupni, přičemž všechny z amplitudové modulace známé způsoby jsou použitelné, jako anodová modulace, mřížková modulace, a pod. Modulátor se může vytvořit na analogovém nebo číslicovém principu. Také jsou možná směšovací řešení se současným použitím analogové nebo číslicové techniky.

Obr. 2 ukazuje použití modulátoru s jedním postranním pásmem ve vysoce výkonovém rozhlasovém vysílači, přičemž z důvodu přehlednosti jsou znázorněny pouze komponenty podstatné pro připojení modulátoru s jedním postranním pásmem.

Analogo-číslicový převodník 20 je provozován s taktovacím kmitočtem $f_1 = 100$ kHz. Prostřednictvím vstupu 2 je přiváděn analogo-číslicovému převodníku 20 nízkofrekvenční signál N, jeho výstup je spojen se vstupem modulátoru 1 s jedním postranním pásmem,

vytvořený na bázi číslicové odpovídající obr. 1, kterému je přiváděn vstupní číslicový signál. Na výstupech Hilbertova transformátoru 5 je každých $10 \mu s$ k dispozici nová hodnotová dvojice. Veškeré výpočty během jedné snímací periody $10 \mu s$ se musí provádět s přesností 12 bitů a používají se jako číslicové konstrukční prvky signálových procesorů.

U provedení vysoce výkonového rozhlasového vysílače podle obr. 3 je modulátor 1 s jedním postranním pásmem vytvořen analogovým způsobem, to je analogovou obvodovou technikou. Vstupní signál N a také výstupní signály modulátoru 1 s jedním postranním pásmem jsou analogová napětí. Převod do číslicové formy pro číslicově-analogový převodník 21 provedený jako spínací zesilovač s pulsní stupňovou modulací se provádí za modulátorem 1 s jedním postranním pásmem prostřednictvím analogově-číslcového převodníku 20.

Modulátorový amplitudový signál 2 může se místo na anodu 23 vysokofrekvenční koncové elektronky přivádět také na další mřížku, například na stínící mřížku elektronek. Modulátorový fázový signál na druhém výstupu 19 modulátoru s jedním postranním pásmem může se místo se řídící mřížkou elektronek 26 vysokofrekvenčního koncového stupně také spojit s jejich katodou. Pásmová propust může se místo v modulátoru 1 s jedním postranním pásmem také integrovat v kmitočtovém převodníku 25. Konečně v modulátoru 1 s jedním postranním pásmem může odpadnout dělička 17, přičemž vzorkovací signál použitý pro fázovou modulaci vykazuje amplitudovou složku.

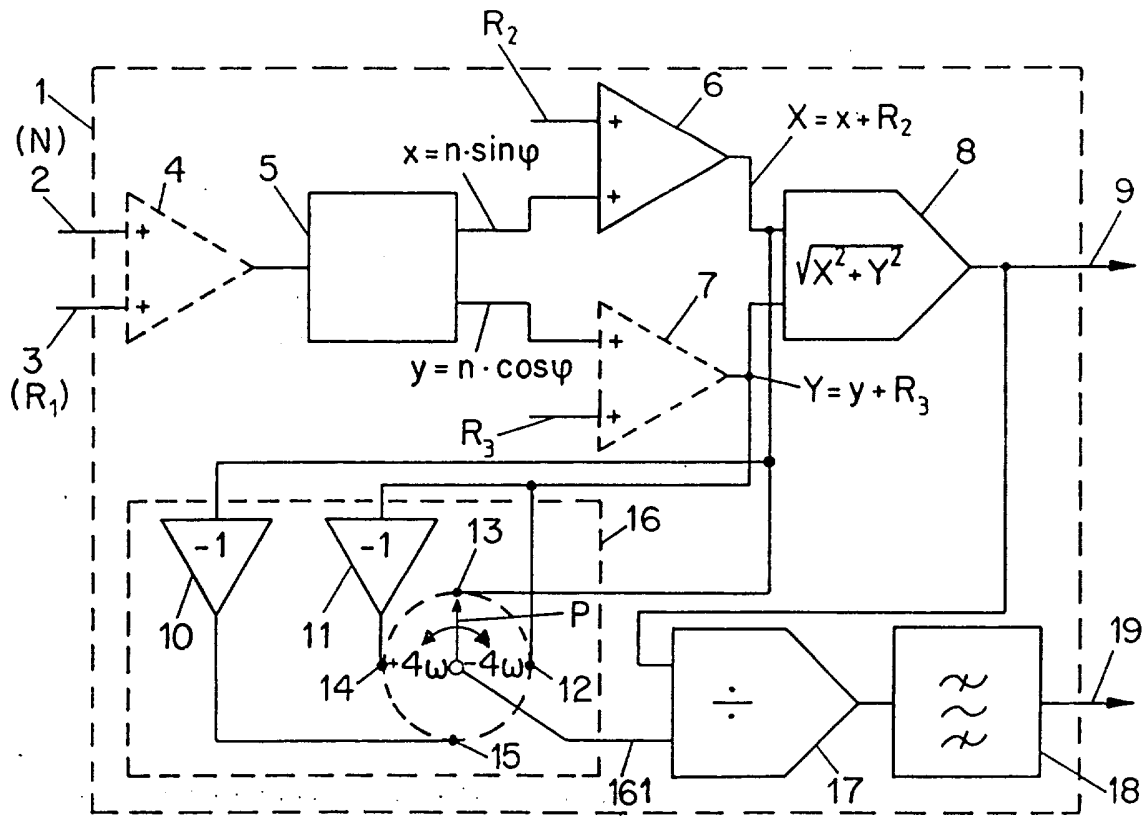
P R E D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Modulátor s jedním postranním pásmem se vstupem pro modulující vstupní signál, s prvním výstupem pro modulátorový amplitudový signál a s druhým výstupem pro modulátorový fázový signál, vyznačující se tím, že sestává z Hilbertova transformátoru (5) s jedním vstupem a dvěma výstupy, z amplitudového sumátoru (8) se dvěma vstupy a jedním výstupem, z cyklického spínače (16) se čtyřmi vstupy a jedním výstupem, z děličky (17) se dvěma vstupy a jedním výstupem a z pásmové propusti (18) s jedním vstupem a jedním výstupem, přičemž vstup Hilbertova transformátoru (5) je spojen se vstupem modulátoru (1) s jedním postranním pásmem, první výstup Hilbertova transformátoru (5) je spojen s prvním vstupem amplitudového sumátoru (8) a dvěma vstupy cyklického spínače (16), druhý výstup Hilbertova transformátoru (5) je spojen s druhým vstupem amplitudového sumátoru (8) a s druhými dvěma vstupy cyklického spínače (16), výstup amplitudového sumátoru (8) je spojen s prvním výstupem (9) modulátoru (1) s jedním postranním pásmem a s prvním vstupem děličky (17), výstup cyklického spínače (16) je spojen s druhým vstupem děličky (17), výstup děličky (17) je spojen se vstupem pásmové propusti (18), a výstup pásmové propusti (18) je spojen s druhým výstupem (19) modulátoru (1) s jedním postranním pásmem.

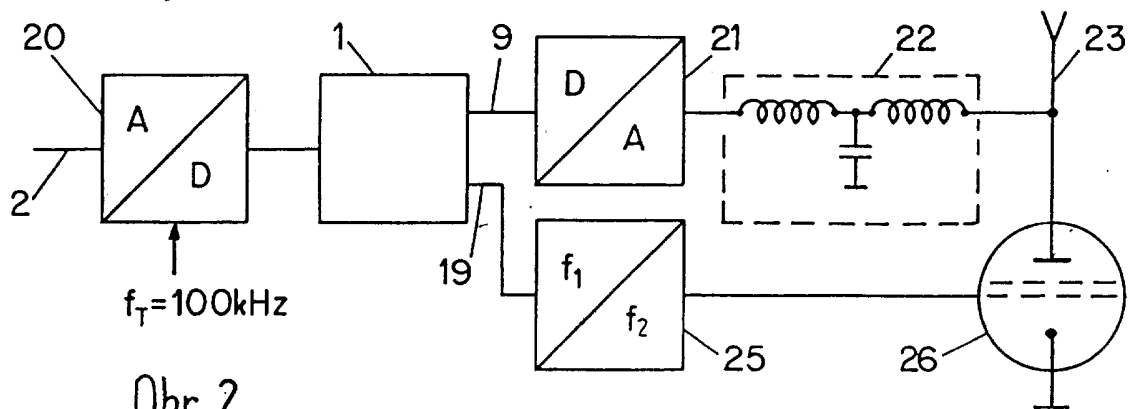
2. Modulátor s jedním postranním pásmem podle bodu 1, vyznačující se tím, že přidavně na výstup Hilbertova transformátoru (5) je připojen součtový člen (6, 7).

3. Modulátor s jedním postranním pásmem podle bodu 1, vyznačující se tím, že přidavně na vstup Hilbertova transformátoru (5) je připojen součtový člen (4).

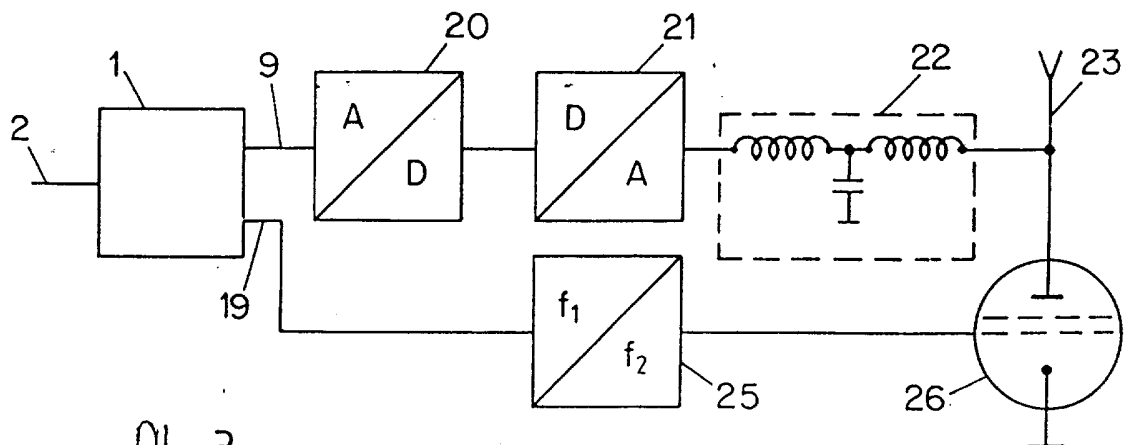
4. Modulátor s jedním postranním pásmem podle bodu 1, vyznačující se tím, že je vytvořen jako číslicový a na jeho vstup je připojen analogo-číslcový převodník (20).



Obr. 1



Obr. 2



Qbr. 3