



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K PATENTU

213321
(11) (B2)

(51) Int. Cl.³
F 04 B 9/04

(22) Přihlášeno 21 06 77
(21) (PV 4072-77)

(40) Zveřejněno 31 07 81

(45) Vydáno 15 08 84

(72)
Autor vynálezu KECSKÉS LÁSZLÓ, BUDAPEŠT (MLR)

(73)
Majitel patentu LABOR MŰSZERIPARI MŰVEK, ESZTERGOM (MLR)

(54) Bezpulsací pístové dávkovací čerpadlo

1

Vynález se týká bezpulsacího pístového dávkovacího čerpadla, zajišťujícího bezpulsací proudění na výtlačné i na sací straně a použitelného pro nepřetržitě dávkování malých množství kapalin, zejména do chromatografických sloupců.

Rozšiřující se používání chromatografických analyzátorů si vynucuje reprodukovatelné dávkování malých množství kapalin s vysokou přesností. Praktickým požadavkem na přesnost, resp. na reprodukovatelnost je tolerance $\pm 0,3\%$. Jelikož dávkování velmi malých množství kapalin — od několika ml/h až do 100 ml/h — musí probíhat při velmi vysokém tlakovém spádu (až 30 MPa), je tento úkol řešitelný pouze pístovými nebo membránovými dávkovacími čerpadly. Stávající pístová a membránová čerpadla nedopravují však kapalinu rovnoměrně, nýbrž způsobem daným pohybovým ústrojím pístu nebo membrány, to je pulsací.

Pulsace dávkování mají být co nejmenší. Z tohoto důvodu se často používá hydraulického akumulátoru. Tento sestává v podstatě z pružné komory, která se v průběhu výtlačného zdvihu rozpíná a akumuluje část výtlačné kapaliny, načež v průběhu sacího zdvihu se smršťuje a vytlačuje v ní akumulovanou kapalinu, čímž se pulsace snižují. Při použití hydraulického akumulátoru se

2

sice pulsace podstatně sníží, avšak ani při jeho použití není možno pulsace vyloučit úplně.

Je již známo několik řešení, jejichž cílem je docílení rovnoměrnosti dávkování. U jednoho takového řešení je použito dvou čerpadel, zapojených vedle sebe. Tato čerpadla pracují stejnou rychlostí, avšak s fázovým posunem o 180°. Při tomto uspořádání je dopravní rychlost dávkované kapaliny rovnoměrnější, avšak v důsledku skoků rychlosti, vznikajících v mrtvých bodech, popřípadě jejich dynamickými vlivy dochází k deformaci konstrukčních částí, takže v těchto bodech není rychlost proudění konstantní. Ani tímto opatřením není tudíž možno docílit dokonale bezpulsací dopravu dávkované kapaliny. Kromě toho je nevýhodou tohoto řešení, že je nutno u něj použít velkého počtu ventilů a těsnění. Při zapojení dvou čerpadel vedle sebe se v případě jejich stejného zdvihového objemu a stejných otáček zdvojnásobuje rychlost proudění, takže malé rychlosti proudění je možno docílit pouze při malém zdvihovém objemu nebo při nízkých otáčkách. Jsou rovněž známa řešení, u nichž jsou zapojena alespoň dvě čerpadla za sebou, mající za úkol zajistit bezpulsací dopravu dávkované kapaliny.

Podstatnou nevýhodou tohoto řešení je, že

je nutno použít zvláštního vačkového hnacího ústrojí, a že kromě dvou čerpadel je nutno uvádět do pohybu ještě doplňkový píst.

U těchto řešení je nutno použít speciálně konstruovaná čerpadla, u nichž píst horního čerpadla vytváří s pístem spodního čerpadla společnou konstrukční část. Naráží se tu na potíže u přímého vedení pístů a válců a je tu zvlášť obtížná výměna těsnění a ventilů. Další nevýhodou tohoto řešení je, že písty vykonávají výtlačný zdvih v rozmezí úhlového natočení 270°, takže sací zdvih probíhá pouze ve zbývajících 90° úhlového natočení. Z toho vyplývá, že střední rychlost proudění dávkované kapaliny je v průběhu sacího zdvihu trojnásobkem rychlosti proudění v průběhu výtlačného zdvihu, čímž může docházet k vytváření vzduchových nebo parních bublin, což může nepříznivě ovlivňovat funkci čerpadla.

Nevýhody dosavadního stavu techniky spočívají v pulsační dopravě kapaliny, znázorněné na diagramu 1, jsou způsobeny průběhem klikového hnacího ústrojí, hnaného konečnou pístní tyčí.

Rychlost pístu je přitom

$$V_t = r \cdot \omega \cdot \sin \phi,$$

kde značí r poloměr kliky, ω úhlovou rychlost a ϕ úhlovou výchylku.

Pro uvedený dávkovací postup je pulsační dávkování velmi nevýhodné, jelikož jednak dochází ke zhoršování ostrosti dělení a jednak se v důsledku příliš vysokých špičkových hodnot rychlosti vytvářejí příliš vysoké špičkové hodnoty tlaku. Střední rychlost proudění, příslušná pro úhlovou výchylku $2r\omega$, je

$$V_k = \frac{r \cdot \omega}{\pi},$$

kde značí r poloměr kliky a ω úhlovou rychlost. Maximální rychlost proudění je přitom $V_{\max} = r \cdot \omega$.

Maximální rychlost proudění je tudíž π -krát větší než střední rychlost proudění. Jelikož tlakový spád je úměrný vyšší mocnině rychlosti, bude hodnota tlaku v případě absolutně tuhého systému při maximální rychlosti proudění větší o některou π -násobenou vyšší mocninu než při střední rychlosti proudění. Ve skutečnosti ovšem absolutně tuhý systém neexistuje, takže skutečná špičková hodnota tlaku nebude tak vysoká; přesto však může být v závislosti na tuhosti daného systému značně vysoká.

Z uvedených skutečností je tudíž možno vyvodit, že kapalinovou chromatografickou kolonou je možno nechat projít stejné množství kapaliny při nižším a stálejším tlaku, než jak je tomu při pulsačním dávkování kapaliny. Z toho vyplývá, že v případě kolony pracující s určitým tlakem, je možno použít plnění o větší výšce, čímž je možno zvýšit ostrost dělení.

Úkolem vynálezu je vyřešení dávkovacího čerpadla, zajišťujícího dokonale bezpulsační proudění dávkované kapaliny na výtlačné i sací straně, tudíž na obou stranách čerpadla. Stanovené cíle je dosaženo tím, že u pístového dávkovacího čerpadla, sestávajícího z hlavního pístu, sacího ventilu, výtlačného ventilu, excentrovaného pohonu a z nekonečné pístní tyče, je kromě hlavního pístu použito alespoň jednoho pomocného pístu, zabudovaného do výtlačného potrubí za výtlačným ventilem hlavního pístu a poháněného vačkou upevněnou společně s hnacím excentrem hlavního pístu na společném hnacím hřídeli a tvarovanou tak, že v průběhu výtlačného zdvihu hlavního pístu s vyšší rychlostí proudění dávkované kapaliny, než je střední rychlost proudění, se pomocný píst nachází v sacím zdvihu, přičemž se pohybuje takovou rychlostí, aby rychlost dávkované kapaliny, vytékající ze soupravy čerpadla, byla rovna střední rychlosti proudění.

Výhoda řešení podle vynálezu spočívá v tom, že se dosahuje bezpulsační dopravy kapaliny pístovým dávkovacím čerpadlem. Hlavní píst saje v průběhu úhlového natočení 180° a vytlačuje v průběhu dalších 180° úhlového natočení. Pomocný píst nasaje v průběhu výtlačného zdvihu hlavního pístu polovinu jím vytlačené kapaliny, čímž probíhá bezpulsační doprava dávkované kapaliny. Při sacím zdvihu hlavního pístu vytlačuje pomocný píst jím akumulovanou polovinu kapaliny, rovněž bez pulsací. Bezpulsační doprava dávkované kapaliny je docílena uspořádáním vačkového hřídele, ovládajícího pomocný píst.

Při použití pístového dávkovacího čerpadla podle vynálezu je možno u hlavního pístu použít běžný excentrický pohon s použitím řešení tak zvané nekonečné pístní tyče. Pomocný píst je rovněž řešen v běžném provedení, pouze řešení jeho hnacího ústrojí je zvláštní. Kromě sacího a výtlačného ventilu hlavního pístu nejsou přitom nutné žádné další ventily.

Vynález je dále podrobněji popsán na příkladném provedení a s odvoláním na výkresy, kde značí obr. 1 křivku průběhu klikového mechanismu, hnaného konečnou pístní tyčí, obr. 2 rychlosti hlavního a pomocného pístu a střední rychlost proudění na výtlačné straně, obr. 3 rychlosti hlavního a pomocného pístu a střední rychlost proudění na sací straně, obr. 4 schéma hnacího mechanismu — excentru pro pohon hlavního pístu a vačky pro pohon pomocného pístu a vačky pro pohon pomocného pístu na výtlačné straně, obr. 5 schematické znázornění pístového dávkovacího čerpadla s pomocnými písty na sací i výtlačné straně podle vynálezu, obr. 5a až 5g diagramy rychlostí v jednotlivých částech čerpadla podle vynálezu, obr. 6 schematické znázornění pístového dávkovacího čerpadla s pomocným pístem na výtlačné straně.

Na diagramu na obr. 2 je plnou čarou znázorněna rychlost hlavního pístu a čárkovanou čarou rychlost pomocného pístu. Čerchovaná čára znázorňuje střední rychlost proudění.

Rychlost hlavního pístu je dána vztahem

$$V_f = r \cdot \omega \cdot \sin \phi,$$

kde značí ϕ úhlové natočení hnacího excentru při střední rychlosti proudění, přičemž

$$v_k = \frac{r \cdot \omega}{\pi}$$

Je-li rychlost hlavního pístu rovna střední rychlosti proudění, pak

$$r \cdot \omega \cdot \sin \phi = \frac{r \cdot \omega}{\pi}$$

a tudíž

$$\sin \phi = \frac{1}{\pi}$$

Sací zdvih pomocného pístu probíhá po dobu

$$t = \frac{\pi - 2 \arcsin \frac{1}{\pi}}{\omega}$$

V úseku, v němž je rychlost hlavního pístu

$$v_f + v_s = r \cdot \omega \cdot \sin \phi + \frac{r \cdot \omega}{\pi} - r \cdot \omega \cdot \sin \phi = v_k$$

a v intervalu $\pi \leq \phi \leq 2\pi$ rychlostí $v_s = v_k$.

Pomocný píst je možno zabudovat rovněž na sací stranu hlavního pístu. Při tomto uspořádání se docílí bezpulsacího proudění na výtlačné i na sací straně hlavního pístu. Na sací straně jsou poměry podobné jako na výtlačné straně (viz diagram na obr. 3). Rozdíl spočívá pouze v tom, že pohyb pomocného pístu na sací straně se v porovnání s pohybem pomocného pístu na výtlačné straně odchyluje pouze o fázi π , přičemž funkce vyjadřující jeho pohyb se od funkce vyjadřující pohyb pomocného pístu na výtlačné straně liší pouze znaménkem minus. Rychlost hlavního pístu je na obr. 3 vyznačena plnou čarou, rychlost pomocného pístu čárkovanou čarou, střední hodnota proudění čerchovanou čarou.

U čerpadla podle vynálezu je hlavní píst uváděn do pohybu jednoduchým mechanismem kotoučového excentru 2 (obr. 4), takže funkci rychlosti hlavního pístu je možno vyjádřit rovnicí

$$V_f = r \cdot \omega \cdot \sin \phi,$$

$$R = \frac{1}{\omega} \int V_s = \frac{v}{\pi} \int d\phi - r \int \sin \phi d\phi,$$

menší než rychlosti odpovídající hodnotě v_k , to je, když

$$Q \leq \phi \leq \arcsin \frac{1}{\pi}$$

popřípadě v intervalu

$$\pi - \arcsin \frac{1}{\pi} \leq \phi \leq \pi$$

je pomocný píst ve výtlačném zdvihu, a to tak, že součet proudění vyvolaných pomocným a hlavním pístem odpovídá střední rychlosti proudění.

V průběhu sacího zdvihu hlavního pístu je pomocný píst ve výtlačném zdvihu, a to rychlostí odpovídající hodnotě v_k (viz obr. 2). Tím je proudění kapaliny na výtlačné straně, vystupující přes pomocný píst, konstantní a je přímo úměrné rychlosti proudění vyvozené hlavním pístem.

Při změně rychlosti hlavního pístu podle funkce $v_f = r \cdot \omega \cdot \sin \phi$ se podle uvedených vývodů dosáhne bezpulsacího proudění, když se hlavní píst v intervalu $0 \leq \phi \leq \pi$ pohybuje rychlostí

$$v_s = \frac{r \cdot \omega}{\pi} - r \cdot \omega \cdot \sin \phi,$$

to je, když se v tomto intervalu pohybuje kapalina rychlostí

kde značí r excentricitu excentru, ω úhlovou rychlost excentru a ϕ úhlové natočení excentru. Pomocné písty jsou uváděny do pohybu vačkovými mechanismy 5, 6 (obr. 5). Vačka 5 (obr. 4) na výtlačné straně, popřípadě profil této vačky se určuje takto.

V rozmezí $0 \leq \phi \leq \pi$ (při průměru pomocného pístu stejném jako je průměr hlavního pístu) je hodnota

$$v_s = \frac{r \cdot \omega}{\pi} - r \cdot \omega \cdot \sin \phi,$$

přičemž v rozmezí $\pi \leq \phi \leq 2\pi$ je hodnota

$$v_s = \frac{r \cdot \omega}{\pi}$$

V případě $0 \leq \phi \leq \pi$ má rovnice pro profil vačky tvar

$$v_s = \frac{dR}{dt} = \frac{dR}{d\phi} \cdot \omega,$$

kde značí R vzdálenost bodů profilu vačky od jejího středu.

$$dR = \frac{1}{\omega} \cdot v_s \cdot d\phi,$$

to jest

to jest, profil vačky v tomto intervalu je možno vyjádřit rovnicí

$$R = \frac{r \cdot \phi}{\pi} + r \cdot \cos \phi + c_1.$$

Tato rovnice vyjadřuje body profilu vačky

$$R = \frac{1}{\omega} \int v_s d\phi = \frac{v}{\pi} \int d\phi = \frac{r \cdot \phi}{\pi} + c_1 - r.$$

Konstanta c_1 je určována výchozími podmínkami — je tudíž závislá na rozměrech čerpadla a je minimálně rovna poloměru hlavního hřídele 7.

Profil vačky 6 na sací straně je možno dimenzovat stejným způsobem jako profil vačky na výtlačné straně, s vycházením z funkce rychlosti pomocného pístu. Její profil je identický s profilem vačky 5 na výtlačné straně, avšak o 180° natočen — je tudíž jejím zrcadlovým obrazem.

Excentr 2 (na obr. 5) uvádějící do pohybu hlavní píst 1 je s vačkami 5, 6 uvádějícími do pohybu pomocné písty 3, 4 společně naklínován na hlavním hřídeli 7. Spojení mezi excentrem 2, popřípadě vačkami 5, 6 s písty 1, 3, 4 je zajištěno napojovacími částmi 8, 9, 10, které jsou k excentru 2, popřípadě k vačkám 5, 6 přitlačovány pružinami 11, 12, 13.

Písty 1, 3, 4 se kluzně pohybují v ucpávkových pouzdrech 14, 15, 16. Jednosměrné proudění je zajištěno výtlačným ventilem 17 a sacím ventilem 18. Mechanismu pohonu pístů je uváděn do otáčivého pohybu elektromotorem 19 přes hlavní hřídel 7.

Na obr. 5a až 5g jsou znázorněny dílčí rychlosti proudění, probíhající v jednotlivých částech čerpadla, popřípadě jsou na nich znázorněny rychlosti hlavního pístu 1, popřípadě pomocných pístů 3, 4 v závislosti na úhlovém natočení hlavního hřídele 7.

ve funkci úhlového natočení. V rozmezí π

$$\leq \phi \leq 2\pi, \text{ v němž } v_s = \frac{r}{\omega},$$

je profil vačky dán rovnicí

Na obr. 5a je znázorněna rychlost ve výtlačném potrubí za pomocným pístem 3; na obr. 5b rychlost pomocného pístu 3; na obr. 5c rychlost v úseku mezi pomocným pístem 3 a ventilem 17; na obr. 5d rychlost hlavního pístu 1; na obr. 5e rychlost v úseku mezi ventilem 18 a pomocným pístem 4; na obr. 5f rychlost pomocného pístu 4; na obr. 5g rychlost v tlakovém potrubí před pomocným pístem 4. Je třeba poznamenat, že ve většině případů není prakticky nutno odstraňovat pulsaci i na sací straně. V takovém případě je tudíž možno přednostně použít zjednodušeného uspořádání pístového dávkovacího čerpadla podle tohoto vynálezu v provedení podle obr. 6 — u něhož je pomocný píst 3 umístěn pouze na výtlačné straně, to jest, je vynechán pomocný píst 4 na sací straně.

Při daném provedení pístu je rychlost proudění závislá pouze na úhlové rychlosti hlavního hřídele 7. Je-li tudíž tato rychlost konstantní, je také konstantní rychlost proudění. Je-li tato rychlost proměnná, pak může také být proměnná rychlost proudění v závislosti na změně úhlové rychlosti hlavního hřídele 7.

Z uvedených důvodů je zřejmé, že nastavením úhlové rychlosti — změnou otáček — hlavního hřídele 7 je možno docílit různých rychlostí proudění.

PŘEDMĚT VYNÁLEZU

1. Bezpulsací pístové dávkovací čerpadlo, sestávající z hlavního pístu, sacího ventilu, výtlačného ventilu, excentrového pohonu a z nekonečné pístní tyče, vyznačující se tím, že do výtlačného potrubí za výtlačným ventilem (17) hlavního pístu (1) je zabudován pomocný píst (3), poháněný vačkou (5) upevněnou společně s hnacím excentrem (2) hlavního pístu (1) na hlavním hřídeli (7), přičemž uvedená vačka (5) má v úhlovém rozmezí $0 \leq \phi \leq \pi$ profil o poloměru

$$R = \frac{r \cdot \phi}{\pi} + r \cdot \cos \phi + c_1$$

a v úhlovém rozmezí $\pi \leq \phi \leq 2\pi$ profil o poloměru

$$R = \frac{r \cdot \phi}{\pi} + c_1 - r,$$

zatímco konstanta c_1 je závislá na rozměrech čerpadla.

2. Bezpulsací pístové dávkovací čerpadlo podle bodu 1, vyznačující se tím, že v přívodním potrubí před sacím ventilem (18) hlavního pístu (1) je zabudován další pomocný píst (4), kterému je přiřazena vačka (6) upevněná společně s hnacím excentrem (2) hlavního pístu (1) a s hnací vačkou (5) pomocného pístu (3) na hlavním hřídeli

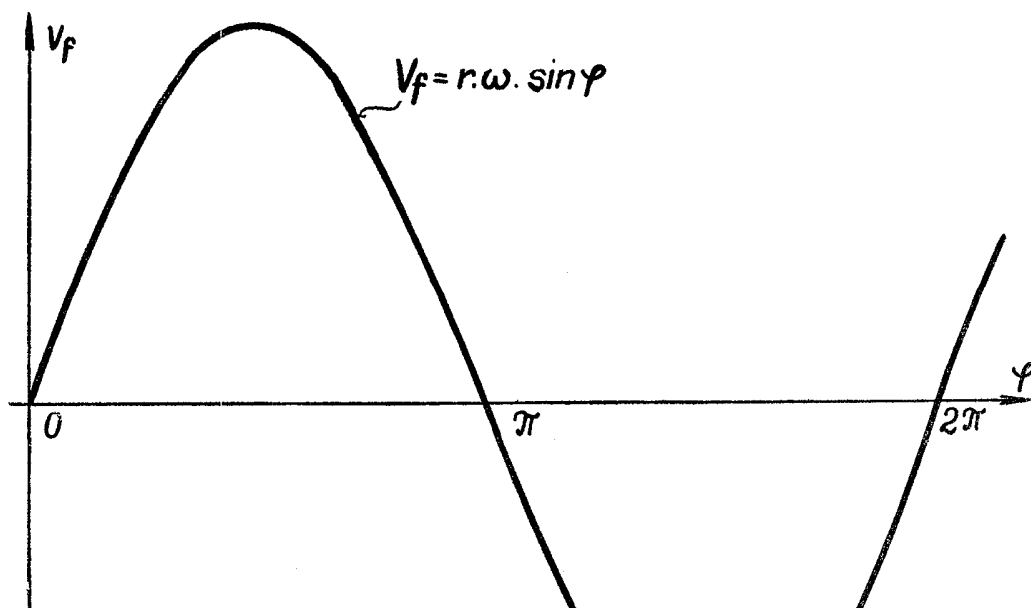
(7), přičemž tato vačka (6) je v úhlovém rozmezí $0 \leq \varphi \leq \pi$ provedena v profilu o poloměru

$$R = \frac{r \cdot \varphi}{\pi} + c_1$$

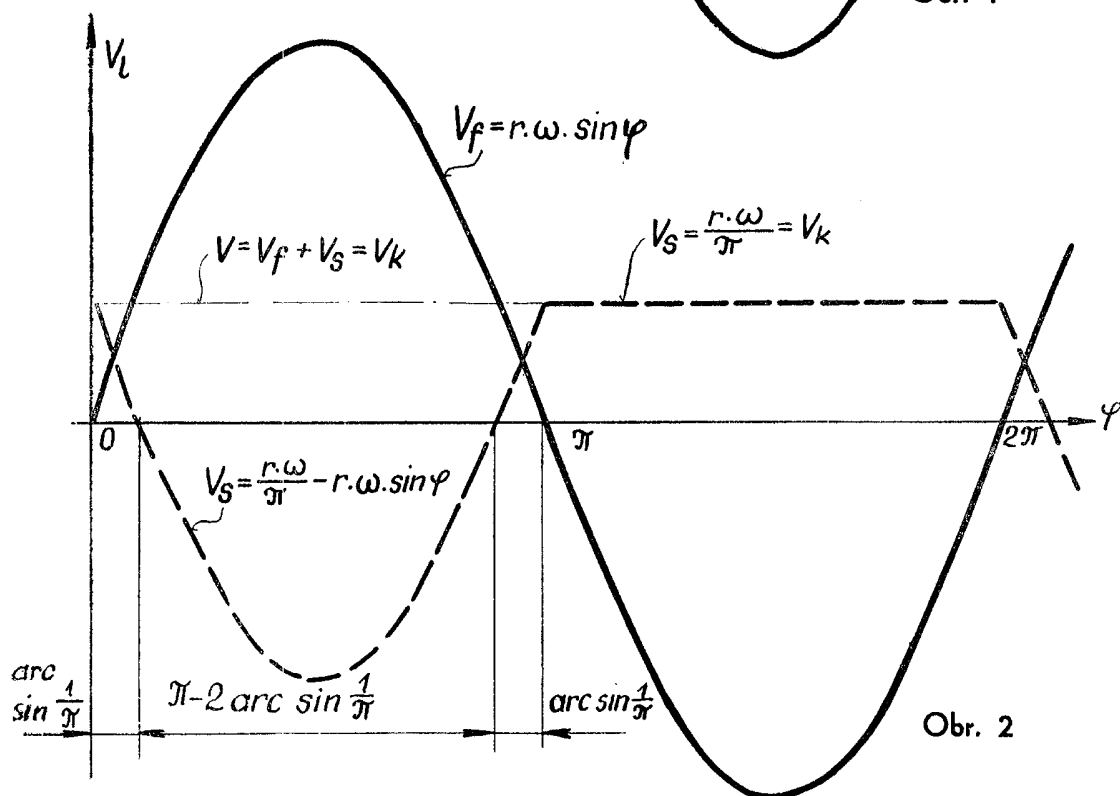
a v úhlovém rozmezí $\pi \leq \varphi \leq 2\pi$ v profilu o poloměru

$$R = -\frac{r \cdot \varphi}{\pi} - r \cdot \cos \varphi + c_1 - r.$$

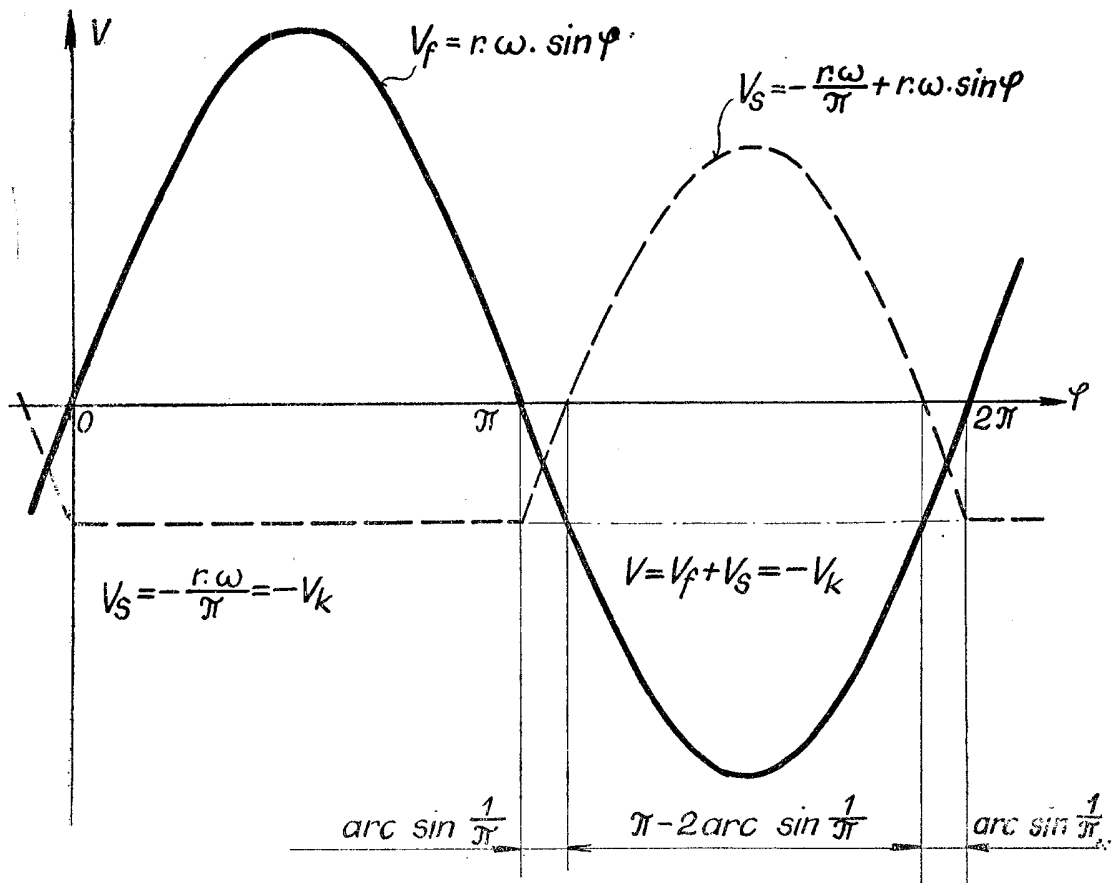
4 listy výkresů.



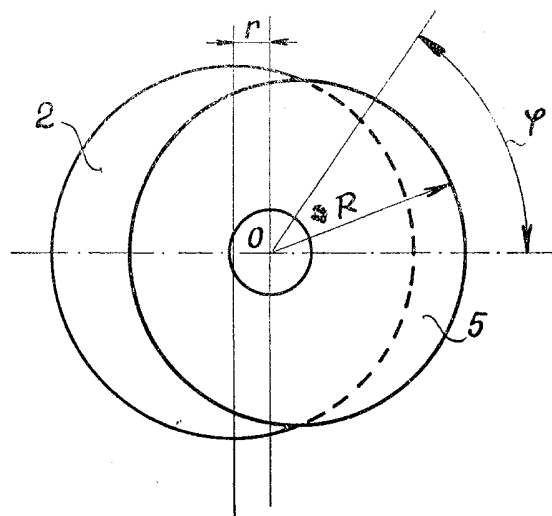
Obr. 1



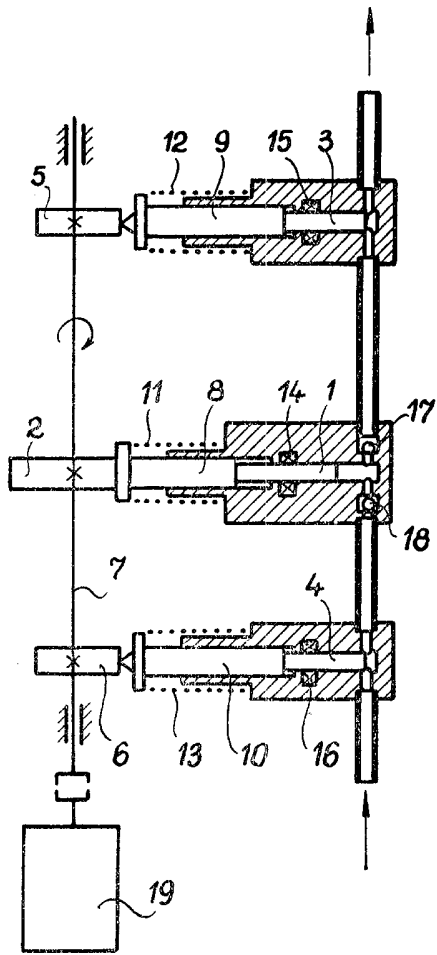
Obr. 2



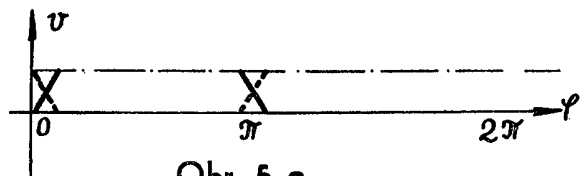
Obr. 3



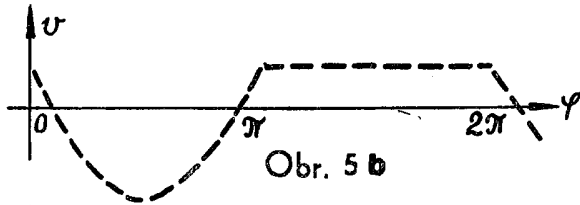
Obr. 4



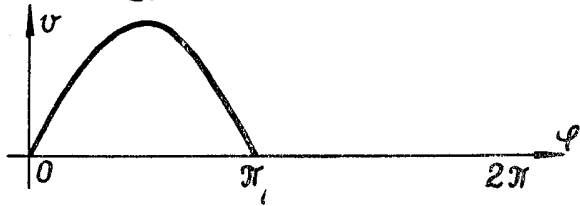
Obr. 5



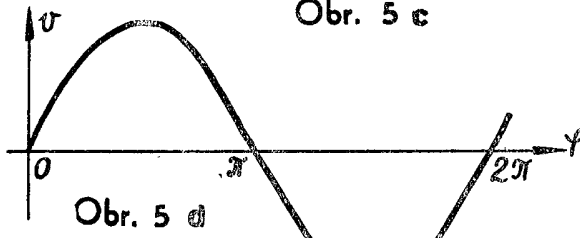
Obr. 5 a



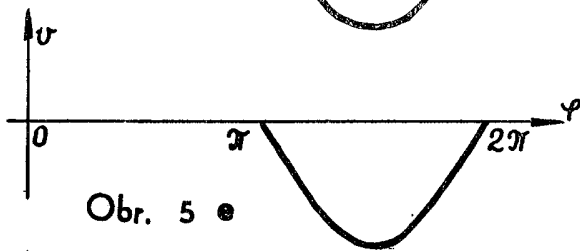
Obr. 5 b



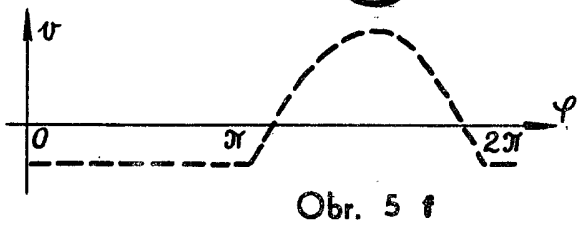
Obr. 5 c



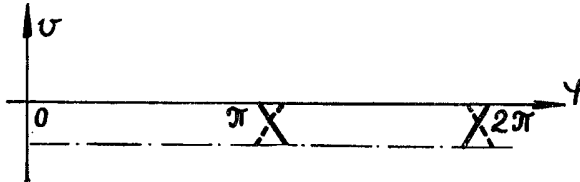
Obr. 5 d



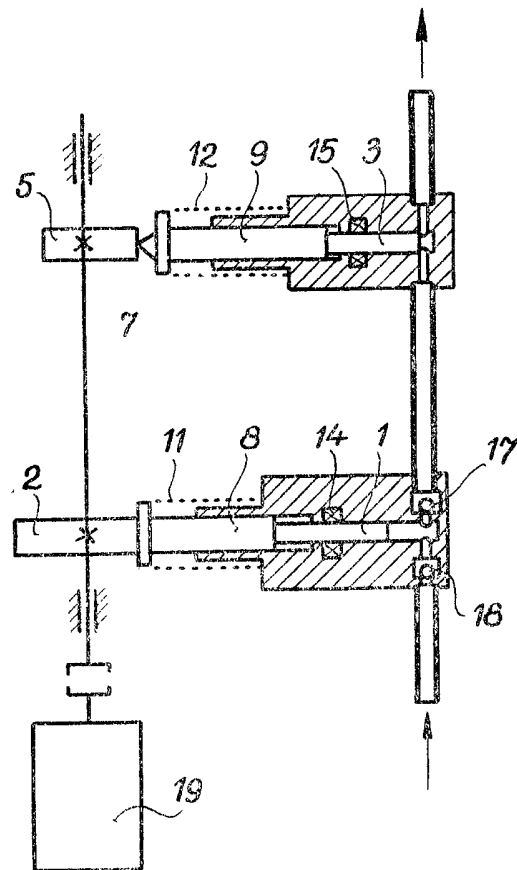
Obr. 5 e



Obr. 5 f



Obr. 5 g



Obr. 6