



[B] (11) **KUULUTUSJULKAISU** 68721
UTLÄGGNINGSSKRIFT

C (45) Patentti myönnetty 10 10 1985
Patent meddelat

(51) Kv.lk./Int.Cl.⁴ F 23 D 11/34

SUOMI—FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patentihakemus — Patentansökning	801813
(22) Hakemispäivä — Ansökningsdag	05.06.80
(23) Alkupäivä — Giltighetsdag	05.06.80
(41) Tullut julkiseksi — Blivit offentlig	09.12.80
(44) Nähtäväksipanon ja kuul.julkaisun pvm. — Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	28.06.85

(32)(33)(31) Pyydetty etuoikeus — Begärd prioritet 08.06.79
USA(US) 46641 Toteennäytetty-Styrkt

(71) Sono-Tek Corporation, 313 Main Mall, Poughkeepsie, N.Y. 12601, USA(US)

(72) Harvey L. Berger, Poughkeepsie, N.Y., Charles R. Brandow, Highland,
New York, USA(US)

(74) Oy Kolster Ab

(54) Ultraäänikäyttöinen polttoainesumutin - Med ultraljud fungerande
bränslespridare

Tämä keksintö kohdistuu ultraäänianturirakennelmiin, erityisesti ultraäänisumuttimeen hienoimpien nestehiukkasten hienojakoisen suihkun tuottamiseksi, jossa suuttimessa on käytin, jonka ulostulotaso aikaansaa ennalta määrätyllä, ultraäänialueella olevalla taajuudella pituussuuntaisen, värähtelevän liikkeen, värähtelyvahvistin, joka on porrastettu ultraäänitorvi, jossa on ensimmäinen lieriömäinen osuus, jonka sisääntulopuolinen taso osuu yhteen käyttimen ulostulotason kanssa, ja jonka pituus vastaa neljäsosaa aallonpituudesta käyttötaajuudella, sekä ensimmäisen lieriömäisen osuuden toiseen päähän liittyvä toinen lieriömäinen osuus, jonka läpimitta on olennaisesti pienempi kuin ensimmäisen lieriömäisen osuuden, ja toisen lieriömäisen osuuden ulompaan päähän liittyvä, laipalla varustettu varustettu kärki, jolloin laipan läpimitta on suurempi kuin toisen, mutta pienempi kuin ensimmäisen lieriömäisen osuuden läpimitta ja laipalla varustetun kärjen päätypinta muodostaa sumutuspinnan, sekä välineet sumutuspinnalla säteittäisesti ulospäin virtaavan nesteen syöttämiseksi sumutettavaksi käyttimellä tuotettujen värähtelyjen avulla.

Tämän tapainen ultraäänisumutin on tunnettu US-patenttijulkaisusta 4 153 201 ja DE-hakemusjulkaisusta 27 49 859. Kuten niissä esitetään, voidaan sumutuksen hyötysuhdetta parantaa sondilla varustetulla sähkömekaanisella ultraäänimuuttimella niin, että sondi varustetaan jäykän laipan muodossa olevalla, suurenetun läpimitan omaavalla kärjellä ja että sumutetun nestemäisen polttoaineen muotoon ja tiheyteen voidaan vaikuttaa laipalla varustetun, sumuttavan pinnan geometrisen profiilin avulla.

Esimerkiksi sondin akseliin nähden kohtisuoraan sovitettu tasainen pinta aikaansaa aivan tietynlaisen muodon ja tiheyden sumutetulle nesteelle. Jos pinta on taivutettu kuperaksi, on sumutetun nesteen suihku leveämpi, ja poikkileikkauspinnan pintalayksikköä kohti sumuttuneita hiukkasia löytyy vähemmän kuin jos pinta on tasainen. Koveraksi taivutettu pinta kaventaa suihkun muotoa ja suihkussa olevien hiukkasten tiheys on suurempi kuin pinnan ollessa tasainen.

Tekniikan tasoon kuuluvana voidaan mainita vielä US-patenttijulkaisu 3 317 139, josta myös tunnetaan ultraäänisumutin, jonka sumutuspinta on tehty kartionmuotoiseksi kärjeksi, joka sumuttaa nesteen ulos kaikkiin suuntiin.

Aloilla, joilla käytetään tämän tapaista ultraäänimuunninta sumuttimena nestemäistä polttoainetta käyttävässä polttimessa, on usein toivottavaa saada aikaan kartionmuotoinen suihku, jonka avauskulma on noin 60° . Pallomaisesti kuperan sumutuspinnan omaavat suuttimet eivät kuitenkaan ole osoittautuneet täysin tyydyttäväiksi tällaisen suihkun tuottamisessa. Koetulokset osoittavat, että suihkuun syntyy kulma, joka on ainoastaan puolet edellä mainitusta aseteluvusta. Lisäksi on osoittautunut, että jäykällä laipalla varustettua muutinkärkeä, jossa on pallomaisesti kupera sumutuspinta, on hyvin vaikea ohjata, jolloin tarvitaan hyvin voimakkaita käyttöimpulsseja polttoaineen sumuttamiseksi. Tällainen epävakainen käynti ei kuitenkaan ole luvallista kotitalouksissa ja teollisuuslaitoksissa käytettävissä polttoainesuuttimissa. Toisaalta muuntimet, joissa on jäykän laipan omaava kärki ja tasainen sumutuspinta, ovat toimineet vakaasti ja hyvällä hyötysuhteella, mutta tasaisen sumutuspinnan tuottama suihku ei ole riittävän laaja, jotta polttoaine sekoittuisi hyvin sisään virtaavan ilman kanssa ja jotta öljypolttimien tavallisissa suurpainesuuttimissa syntyisi hyvä liekki.

Tämän keksinnön eräs pääasiallinen tarkoitus on tämän johdosta aikaansaada ultraäänikäyttöinen sumutin, jolla on sumuttamis-pinta, joka kykenee aikaansaamaan stabiilin, puoleksi kiinteän, kartionmuotoisen suihkukuvion, jolla on ennakolta määriteltä kartiokulma ja tasainen sumutettujen hiukkasten jakautuma oleellisesti koko sumuttamisen pinnalta.

Tähän päämäärään päästään keksinnön mukaisesti siten, että sumutuspinta on kuperasti kartiomainen, ja ulottuu laipalla varustetun kärjen reunan mukaisesti ja tuottaa näin silloin, kun sumutin herätetään käyttötaajuudella, tämän pinnan yli virtaavien, hienojakoisten pisaroiden oleellisesti kartiomaisesti muodostetun suihkujakauman, jolloin tämä kartiomuotoisen virtauksen akseli kulkee samansuuntaisesti pitkittäisvärähtelyjen kanssa ja kuperasti kartiomaisen pinnan kärkikulma muodostaa supplementtikulman sumutetun nesteen kartionmuotoista virtauskulmaa varten, että lisäksi laipalla varustetussa kärjessä on sumutuspintaan liittyvä, lyhyt lieriömäinen osuus, jonka läpimitta on sama kuin kartiomaisen sumutuspinnan kannalla ja joka näin varmistaa, että sumutuspinta aikaansaa ainoastaan pituussuuntaisia värähtelyjä, ja että porrastetun ultraäänitorven mitat vastaavat mittoja, jotka saadaan tulokseksi, kun ratkaistaan ajallisesti muuttumaton differentiaaliyhtälö pituussuuntaisten värähtelyjen etenemiselle kiinteässä väliaineessa, joka saatetaan värähtelemään ennalta määrättyllä ultraäänitaajuudella.

Edellä esitetty ja muut piirteet ja edut tästä keksinnöstä tulevat käymään ilmi alempana olevasta edullisena pidetyn suoritusmuodon selityksestä oheisten piirustusten yhteydessä, joissa:

Kuvio 1 on sivukuvanto osittain leikkauksena sumuttamis-laitteesta tämän keksinnön mukaan.

Kuvio 2 on sivukuvanto suurennettuna yksityiskohtana varsiosuudesta varustettuna laipallisella kärjellä, kuten kuviossa 1 on esitetty.

Kuvio 3 on kaavio pitkittäissuuntaisesta värähtelyn amplitudista tämän keksinnön mukaisen vahvistavan osan pituuden funktiona.

Viitaten nyt kuvioon 1, esitetään siinä ultraäänikäyttöinen, sähkömekaaninen laite 11 koottuna elektrodilevystä 12 kerrostettuna pietsosähköisten levyjen 13 ja 14 väliin, viimeksi mainittujen puolestaan ollessa kerrostettu etummaisesta sumuttamisosuuden 15 ja taaemman tukiosuuden 16 väliin. Etummainen ja taaempi osuus on varustettu sisäisesti yhtenäisillä kiinnityslaipoilla 17 ja vastaa-

vasti 18 ja tämä rakennelma on koottu yhteen kiinnitysruuveilla tai pulttipääruuveilla 19, mitkä asetetaan kohdakkain olevien reikien kautta kiinnityslaipoissa 17 ja 18, rengasmaisissa tiivistysrenkaissa 20 ja 21 ja elektrodilevyssä 12 ennen kuin nämä kierretään kiini sisään kierteitettyihin putkiin asentamislevyssä 22.

Jotta estettäisiin tämän rakennelman oikosulkeutuminen, ympäröidään ruuveja 19 laipalla varustetuilla eristämisholkeilla 23, missä ne kulkevat reikien kautta elektrodilevyssä. Kytkinnäpa 24 elektrodilevyn yläpäässä sallii kaapelin 25 kiinnittämisen ultraäänitaajuuden tehonsyötön 26 järjestämiseksi, mikä on rakenteeltaan tavanomainen. Koska asentamislevy 22 on tyypillisessä tapauksessa osa tai se on kiinnitetty sähköisesti maadoitettuun laitteistoon, jollainen voi olla öljypoltin, ovat tämän rakennelman metalliosat elektrodilevyä lukuun ottamatta maadoitettuna täten aikaansaaden paluutien maadoituksen kytkennän kautta tehonsyöttöön. Täten vaihtojännite, millä on ennakolta määritelty ultraäänin taajuus, kehittyy pietsosähköisten osien yli elektrodilevyn ja etummaisesta ja taaemman peruslevyn väliin.

Tämän laitteen etummainen sumuttava osuus 15 sisältää säteittäisen sisääntulon yhteyssolan 27 laipassa 17, mikä sola leikkaa akselinsuuntaisen syöttösolan 28, mikä kulkee eteenpäin etummaisesta osan lävitse aukkoon sumuttavan pinnan 29 keskustassa. Syöttöputki 30, mikä johtaa nesteen syötön laitteistosta, kuten polttoaineen säiliöstä 31, voidaan sitten liittää säteittäiseen sisääntuloon solaan lyhyellä putkella 32, mikä on sovitettu tämän solan 27 sisääntulo-kohtaan tai millä tahansa muulla tavanomaisella kytkentäosalla.

Toiminnan kannalta todettuna sisältää laite 11 symmetrisen kaksinkertaisella toimiosalla varustetun ultraäänikäyttöisen käyttöosan I ja värähtelyn vahvistimen II. Käyttölaitteeseen sisältyy elektrodilevy 12, mainitut kaksi pietsosähköistä osaa 13 ja 14, taaempi tukiosa 16 ja tietty osa 33 etummaisesta sumutinosuudesta 15, minkä mitta on identtinen taaemmalle tukiosalle 16. Täten osa 33 etummaisesta sumuttavasta osasta 15 muodostaa etummaisesta tukiosuuden, mikä oleellisesti sopii yhteen taaemman tukiosan kanssa.

Loppuosa etummaisesta sumuttavasta osasta 15 muodostaa värähtelyn vahvistimen II, mihin sisältyy ensimmäinen sylinterimäinen osa 34, millä on sama halkaisijamitta kuin osalla 33 ja minkä pituus on A, toinen sylinterimäinen osuus 35, mikä on muodoltaan oleellisesti pienemmän halkaisijamitan varsi kuin mitä oli osan 34 halkai-

sijamitta ja minkä pituus on B ja kolmas osuus 36, mikä on muodoltaan laipalla varustettu kärki, minkä halkaisijamitta on suurempi kuin mitä on varren, mutta mikä on oleellisesti pienempi kuin mikä on osassa 34 ja missä puolestaan pituus on C. Edullisimmin on syötösolan 28 sisäpinta vuorattu ainakin ulostulokohdasta vastaten vahvistinosuutta II irtikytkentäholkillä 37, mikä on valmistettu aineesta, millä on voimakkaat vaimentamisominaisuudet ultraääni-taajuuksilla. Polytetrafluoroetyyleeniä pidetään edullisimpina, koska siihen eivät myöskään vaikuta hiilivetyä olevat polttoaineet, kuten eivät myöskään useimmat muut sumutuksen kannalta mielenkiintoiset nesteet.

Vaikkakin värähtelyn vahvistin II on yhtenäinen osa etummaisesta sumuttamisosuudesta, on parasta toimintaa ajatellen edullista suunnitella laitteen rakennelma kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa kootaan koekappale, mikä on identtinen lopullisen laitteiston käyttöosuudelle I, se tahtoo sanoa, että siinä on pitkittäissuuntainen, symmetrinen, kaksinkertaisella taustapohjalla varustettu laite.

Tämän koelaitteen rakennelman pituus lasketaan olemaan yhtä suuri kuin puolet aaltopituudesta koemielessä valittulla toiminta-taajuudella f laskien se yhtälöstä:

$$\lambda = c/f$$

missä c on äänen nopeus siinä aineessa, mikä on valittu etummaista ja taaempaa osuutta varten. Tällaisilla aineksilla tulisi olla hyvät akustimet johtavuusominaisuudet. Alumiini, titaani, magnesium ja näiden metalliseokset, kuten esim. Ti-6Al-4V titaani-aluminiummetalliseos, 6061-T6 alumiinimetalliseos, 7025 suuren lujuuden alumiinimetalliseos ja AZ61 magnesiumseos ovat esimerkkejä soveliaista aineista, mutta myös muita voidaan käyttää.

Kokeilukappaleen rakennelmaa testataan sitten, jotta määriteltäisiin sen todellinen resonanssitaajuus. Koska laskettu pituus perustuu puhtaaseen pitkittäissuuntaiseen värähtelyyn homogeenisen vakiinaisen halkaisijamitan sylinterissä, mikä on valmistettu etummaisen ja taaemman värähtelijäosuuden aineesta, jätetään tässä huomiotta laippojen, kannatinlevyn, asennusruuviin vaikutukset, elektrodi-levyn, pietsosähköisten osien ja tiivistysrenkaiden erilaisten aineiden epätäydellisen yhteensovittamisen pintojen osien välillä solmukohdan ulkopuolisessa sijaintikohdassa, polttoaineen johtimen

kytkennän ja solien vaikutus ja muut poikkeamat teoreettisesta mallista. Nämä vaikutukset ovat vaikeita ja useissa tapauksissa mahdotomia arvioida analyttisesti, mutta kokonaisvaikutukseltaan ne siirtävät varsinaista resonanssitaajuutta tässä kaksinkertaisen osan värähtelijälaitteessa oleellisen määrän sen teoreettisesta resonanssitaajuudesta. Kun käytetään kokeellisesti määriteltyä resonanssitaajuutta tämän sumuttimen toimintataajuutena, saavutetaan tasapainoitettu käyttöosuus, mikä toimii optimilla höytysuhteella.

Mikäli ylimääräinen toimenpide on oikeutettu tarkoitettuun sovellutustapaukseensa, voidaan saavuttaa tarkempi ennakoarvio todellisesta resonanssitaajuudesta kaksinkertaisen osan käyttölaitteessa ottaen huomioon, että kukin neljännesaaltopituuden suuruinen etummaisesta ja taaemmasta osuudesta muodostuu kolmesta sylinterimäisestä osasta, joilla on erilaiset halkaisijamitat, tiheydet ja äänenopeudet vastaten nämä pietsosähköistä osaa, laippaa ja vastaavasti pienemmän halkaisijamitan osuutta. Tietyllä pietsosähköisellä osalla ja laipan mitalla voidaan pienemmän halkaisijamitan osuuden pituus saada ratkaisemalla sinänsä tunnettu differentiaalinen aaltoyhtälö tilanteeseen, missä elektrodin pää lohkoista sijaitsee solmutasolla (nollamääräinen siirtymä) ja toinen pää syöttöosuudesta on kupukohdassa (nollajännitys).

Toisessa vaiheessa valmistetaan uusi etuosan sumuttimen osuus, mihin sisältyy pykälällinen vahvistusosuus, missä pituus A ja pituus B + C ovat molemmat lasketut olemaan neljännes aallonpituutta kokeellisella toimintataajuudella, mikä on määritelty ensimmäisessä vaiheessa. Koska vahvistinosuus on yksi ainoa kappale homogeenista ainetta ja sillä on yksinkertainen geometriä, pituudet A, B ja C määriteltynä aaltoyhtälön ratkaisusta aikaansaavat osuuden, jonka luonnollinen taajuus on hyvin lähellä laskelmissa käytettyä toimintataajuutta. Toisin sanoen, kun erotellaan laite rakenteellisesti tasapainoitettuun käyttöosaan I, minkä resonanssitaajuus voidaan määritellä tarkoin ainoastaan kokeellisesti ja vahvistinosuuteen, minkä resonanssitaajuus voidaan tarkoin määritellä teoriassa ilman tarpeetonta vaikeutta voidaan suunnitella täydellinen sumuttava laite, missä on yhteensovitettu käyttöosa ja vahvistinosuus, niin että tämä toimii optimilla höytysuhteella.

Edellä oleva laitteen rakenteen menetelmä on kuvattuna myös jo aikaisemmin mainitussa US-patentissa nro 4 153 201, mikä myös esittää edullisuuden käyttäjä kiinteää eli jäykkää laippaa sumutuksen kärjessä vahvistavan varren päässä ja määrittelee, että parhaita tuloksia varten yhteenlaskettu pituus varressa ja laipallisessa kärjessä (toisin sanoen $B + C$) tulisi olla pienemmän kuin on pituus A suuremman halkaisijamitan osuudessa tässä vahvistinosuudessa. Syy tähän on, että jäykkä laipallinen kärki aikaansaa massakuormituksen laitteen siihen päähän, mikä muuttaa värähtelyn suurimman amplitudin tasoa merkityksellisen määrän, kun sitä verrataan suoraan laitteeseen, missä ei ole laajennettua kärkeä.

Tässä edellä mainitussa patentissa tasomainen sumutuksen pinta kohtisuorassa varren akselia vastaan katsottiin edullisimmaksi, koska kaikki alueet tällaisesta pinnasta värähtelevät keskenään samalla amplitudilla, mikäli kärki on jäykkä tämän laitteen toiminta-alueella. Samalla kertaa ehdotettiin, että voitaisiin käyttää kuperasti pyöristettyä sumuttamispintaa tapauksissa, missä haluttiin laajempaa sumutettujen hiukkasten hajaantumaa. Kuten on todettu yllä, ovat kuitenkin myöhemmät kokeet tällaisesta kuperasta sumuttamispinnasta osoittaneet tämän olevan vähemmän tyydyttävän tapauksen.

Tarkat havainnot kuperasta sumutuksen pinnasta toimintaolosuhteissa paljastivat, että nesteen sumuttaminen rajoittui rengasmaiseen vyöhykkeeseen välittömästi nesteen ulossyötön solan ulostulokohdan vieressä, missä sumuttava pinta sijaitsi oleellisesti kohtisuorassa varren akselia vastaan. Säteittäisesti ulommissa alueissa, missä kovera sumutuksen pinta muodosti yhä suuremman kulman kohtisuoran tason kanssa, voitiin vain hyvin pieniä määriä nestettä sumuttaa. Näiden tulosten perusteella näyttää siltä, että kulmassa oleva pinta olisi epätehokas nesteen sumuttamiseksi laajan kulman suihkuksi.

Kuitenkin on yllättävästi kartiomainen tai katkaistun kartion muotoinen sumuttava pinta tämän keksinnön mukaan kokeissa havaittu aikaansaavan erinomaisia tuloksia. Nämä kokeellut ja havainnot osoittavat, että nestettä sumutetaan koko kartiopinnalta ja että sumutuksen suunta sijaitsee oleellisesti kohtisuorassa tähän kartiopintaan nähden. Tämän seurauksena mikä tahansa haluttu suihkutuskulman kär-

kikulma voidaan saavuttaa pelkästään valitsemalla kartiomainen sumutuksen pinta, missä on tälle suplementtisuuruinen kärkikulma. Esim. kartiomaisella sumutuspinalla, missä kärkikulma on 120° , aikaansaadaan oleellisesti kartiomainen suihkukuvio, missä kärkikulma on 60° .

Viitaten nyt kuvioon 2, esittää sivukuvanto ulommasta päästä vahvistavaa osaa kuvion 1 laitteessa katkaistun kartion muotoista laipallista sumuttavaa kärkeä tämän keksinnön mukaisena suurennettuna yksityiskohtana.

Samoin kuin tapauksessa tasomaisella sumutuksen pinnalla, aikaansaa laipallinen kärki parannettuja tuloksia lisääntyneen sumutuksen pinta-alan vaikutuksesta. On täysin yhtä tärkeää, että tämä laippa on jäykkä. Täten ulompi reuna katkaistun kartion muotoisesta pinnasta 29 tulisi olla kannatettuna lyhyellä sylinterimäisellä kantaosalla 38. Tämän kantaosuuden pituuden tulisi olla ainoastaan riittävä aikaansaamaan tarpeellinen jäykkyys, jotta taattaisiin, että sumuttava pinta värähtelee tasalaatuisesti eikä taivu tämän laitteen toimintataajuudella, koska on toivottavaa pitää tämän laipalla varustetun kärjen massa minimissään tiettyä halkaisijamittaa ja kärkikulmaa ajateltaessa.

Koska varren ja kärjen kokonaispituudella on kriitillinen vaikutus värähtelyn amplitudiin sumuttavassa pinnassa, on erittäin tärkeää, että varren 35 pituus B ja kärjen 36 pituus C määritellään niin tarkoin kuin mahdollista. Laipalla varustetun kärjen tapauksessa, missä on tasomainen pinta, ovat differentiaaliaaltoyhtälön rajaehdot yksinkertaisia ja niin analyyttinen ratkaisu on suhteellisen helppo saada. Laipalla varustetun kärjen tapauksessa, missä on sylinterimäisen laipan kärki, millä on tasomainen sumutuksen pinta, ovat seuraavat riippuvaisuudet pituuksien B ja C kesken määriteltä analyyttisesti:

$$(\tan kB) (\tan kC) = S_1/S_2$$

missä $k = 2\pi f/c$

S_1 = varsiosan poikkileikkauksen pinta-ala

S_2 = laipan poikkileikkauksen pinta-ala

Analyyttinen ratkaisu kartiomaiselle kärjelle on huomattavasti monimutkaisempi kuin mitä se on sylinterimäiselle kärjelle, koska tämän kärjen halkaisijamitta ei ole vakainen koko sen pituudella.

Yritys suunnitella toimivaa kartiomaisen kärjen sumutinta käyttäen sylinterimäisen kärjen yhtälöä ja olettaen tämä kartiomainen kärki korvatun rakenteessa "vastaavalla" sylinterillä ei kuitenkaan ole onnistunut.

Järkiperäistys tätä ratkaisua varten oli, että varren ja kärjen suhteelliset massat ovat merkityksellisimmät tekijät, mitkä vaikuttavat niiden vastaaviin pitkittäissuuntaisiin mittoihin. Tämän johdosta kartiomainen kärki, millä on sama massa kuin "vastaavalla" sylinterimäisellä kärjessä, tulisi värähtelyn amplitudiltaan olla vastaava. Tästä huolimatta kartiomaisen kärjen sumutin, minkä mitat perustuvat tähän yksinkertaistavaan oletukseen, ei kykene aikaansaamaan tyydyttävää suihkua. Tämä tulos, kun sitä tarkastellaan samalla tavoin epätydyttävien tuloksien pohjalta aikaisemmin mainituista kokeista laitteelle, missä on pallomainen kupera kärki, ehdottaa ratkaisuksi, että kulmassa sijaitseva pinta ei ehkä pystyisi aikaansaamaan tyydyttävää sumuttamista.

Yllättävästi on kuitenkin aikaansaatu hyvä sumuttaminen käyttäen sumutinlaitetta, missä on kartiomainen kärki, jonka mitat on määriteltä tarkoin matemaattisella analyttisellä ratkaisulla. Tämä osoittaa selvästi sitä kriittillistä vaikutusta, mitä jopa pienillä mittamuutoksilla pystyy olemaan sumuttimen toimintaan nähden kartiomaisen sumuttamispinnan tapauksessa.

Analyttinen menetelmä, mitä käytettiin asiaan kuuluvien mittojen määrittelyyn kolmelle osatekijälle neljännesaaltopituuden suuruudessa vahvistavassa laitteessa, missä on laipalla varustettu kärki katkaistun kartion muotoisine sumuttamispintoineen, tullaan nyt kuvaamaan alla.

Viitaten kuvioon 3, on pienennetyn halkaisijamitan varsi ja katkaistun kartion muotoinen kärkiosa vahvistavasta osuudesta kuviossa 2 tässä toistettu likimäärin oikeaan mittakaavaan normalisoidun värähtelyn amplitudiin ja akselinsuuntaisen etäisyyden mukaan laaditun kaavion päälle. Koordinaatti x osoittaa asemaa akselin suunnassa ja r osoittaa asentoa säteittäissuunnassa. Välipintoja kolmen osatekijän kesken tässä laitteessa on merkitty x_1 , x_2 ja x_3 , pykälällistä liitoskohtaa pienennetyn halkaisijamitan laitteesta loppuosaan nähden on merkitty 0 ja projisoitu kärki katkaistun kartion muotoisesta kärjestä on kohdassa x_4 .

Ajan suhteen riippumaton yhtälö pitkittäis-suuntaisen aallon etenemiselle kiinteässä väliaineessa yhdellä ainoalla taajuudella f on

$$\frac{d}{dx} \left(A(x) \frac{d\eta_i}{dx} \right) + k^2 A(x) \eta_i = 0 \quad (1)$$

missä η_i on siirtymä tasapainokohdata (vastaten värähtelyn amplitudia) i :nen alueen kohdalla ($i = 0, 1, 2$) funktiona sijaintikohdasta x . $A_i(x)$ on kunkin alueen poikkileikkauksen pinta-ala ja tämä on jälleen funktiona suureesta x , kun taas k on aaltoluku, mikä verrattuna aallon taajuuteen f ja äänen etenemisnopeuteen c tässä aineessa voidaan lausua riippuvaisuutena $k = 2\pi f/c$.

Yhtälö 1 pätee edellyttäen nyt, että

a) esiintyy yhden ainoan taajuuden aaltomuoto, mikä on luonteeltaan sinimäinen,

b) poikittaissuuntaiset mitat ovat pienempiä kuin valitun taajuuden aaltopituuden neljännes,

c) ollaan kimmokertoimen lineaarisella alueella.

Nämä ehdot on toteutettu nyt kyseessä olevassa tapauksessa.

Kutakin näistä kolmesta alueesta varten ovat poikkileikkauksen pinta-ala $A_i(x)$ suuruudeltaan

$$A_0(x) = \pi r_0^2 \quad 0 \leq x \leq x_0 \quad (2a)$$

$$A_1(x) = \pi r_1^2 \quad x_1 \leq x \leq x_2 \quad (2b)$$

$$A_2(x) = \frac{\pi r_1^2 (x_4 - x)^2}{(x_4 - x_2)^2} \quad x_2 \leq x \leq x_3 \quad (2c)$$

Näihin kolmeen alueeseen liittyvät aaltoyhtälöt voidaan lausua puolestaan:

$$\frac{d^2 \eta_0}{dx^2} + k^2 \eta_0 = 0 \quad 0 \leq x \leq x_1 \quad (3a)$$

$$\frac{d^2 n_1}{dx^2} + k^2 n_1 = 0 \quad x_1 \leq x \leq x_2 \quad (3b)$$

$$\frac{d^2 n_2}{du^2} + \frac{2}{u} \frac{dn_2}{du} + \frac{2}{u^2} = 0 \quad x_2 \leq x \leq x_3 \quad (3c)$$

$$u \equiv k(x - x_4)$$

Alueilla 0 ja 1, missä poikkileikkauksen pinta-alat eivät ole tekijän x funktioita, voidaan pinta-alan lauseke poistaa aaltoyhtälöstä. Alueella 2 pinta-ala on muuttuva ja tämän johdosta aaltoyhtälö saa aivan toisenlaisen muodon. Vaikkakaan kartiokulmat eivät nimenomaan lausekkeessa esiinnykään, määrää x_4 arvon valinta tämän parametrin yksikäsitteisesti.

Analyttiset ratkaisut kaikkiin yhtälöiden 3 toisen kertaluokan differentiaaliyhtälöihin ovat mahdollisia. Yhtälöillä 3a ja 3b on molemmilla yksinkertaiset harmoniset ratkaisut. Yhtälö 3c on standardimuoto nollannen kertaluokan Besselin pallofunktion yhtälöstä, minkä kaksi ratkaisua J ja Y eli Besselin pallofunktiot voidaan nollannen kertaluokan tapauksessa lausua

$$J_0 = \frac{\sin u}{u} ; \quad Y_0 = -\frac{\cos u}{u}$$

Riippuvaisuudet näille kolmelle ratkaisulle ovat seuraavat:

$$n_0(x) = A_0 \cos kx + B_0 \sin kx \quad 0 \leq x \leq x_1 \quad (4a)$$

$$n_1(x) = A_1 \cos kx + B_1 \sin kx \quad x_1 \leq x \leq x_2 \quad (4b)$$

$$n_2(x) = \frac{A_2 \cos k(x - x_4)}{x - x_4} + \frac{B_2 \sin k(x - x_4)}{x - x_4} \quad x_2 \leq x \leq x_3 \quad (4c)$$

missä kuusi vakiosuuretta, A_0 , A_1 , A_2 , B_0 , B_1 ja B_2 ovat toistaiseksi tuntemattomia niiden arvojen riippuessa niiden reunaehtojen luonteesta, mikä on välipinnoilla alueiden välillä ja osuuden päissä.

Nämä reunaehdot voidaan lausua yksinkertaisesti seuraavassa muodossa:

i) kullakin välipinnalla alueiden välillä ($x = x_1, x_2$) täytyy aallon amplitudin olla jatkuva välipinnan yli ja niiden voimien, mitkä liittyvät jännityksiin tämän aallon liikkeellä aikaansaatusena täytyy myös olla jatkuvia.

ii) kohdassa $x = 0$ täytyy värähtelyn amplitudin olla nolla, koska tämä on solmutaso.

iii) kärjen ääripäässä ($x = x_3$) jännitysten täytyy hävitä, koska taso x_3 on kupukohta.

Nämä rajaehdot voidaan lausua kuudella yksinkertaisella yhtälöllä:

$$n_0(0) = 0 \quad (\text{ehto ii}) \quad (5a)$$

$$n_0(x_1) = n_1(x_1) \quad (5b)$$

$$S_0 n_0'(x_1) = (S_1 n_1'(x_1)) \quad (\text{ehto i}) \quad (5c)$$

$$n_1(x_2) = n_2(x_2) \quad (5d)$$

$$n_1'(x_2) = n_2'(x_2) \quad (5e)$$

$$n_2'(x_3) = 0 \quad (\text{ehto iii}) \quad (5f)$$

Näistä kuudesta yhtälöstä ja ratkaisuihin yhtälöiden 3 differentiaaliyhtälöihin on mahdollista löytää kuusi tuntematonta vakiota (suureet A ja B). On edelleen olemassa tietty mielivaltaisuuden aste näissä laskelmissa, koska on mahdollista määritellä pelkästään minkä tahansa näistä vakioista suhde johonkin toiseen nähden. Täten on välttämätöntä mielivaltaisesti olettaa tietty arvo jollekin näistä vakioista, jotta muut voitaisiin määritellä. Tämä ei muodosta mitään käytännön vaikeutta, koska itse asiassa ainoastaan suhteelliset amplitudit ovat joka tapauksessa nyt mielenkiintoisia.

Ennen kuin näitä vakioita arvioidaan, on tarpeen määritellä suureiden x_1, x_2, x_3 ja x_4 arvot (samoin S_0 ja S_1). Pituuskoordinaatit eivät kuitenkaan, ja tämä on ensisijainen havainto, mikä tämän

analyysin perusteella voidaan tehdä, ole riippumattomia toinen toisistaan, vaan tämän sijaan ne ovat toisistaan riippuvaisia sen johdosta, että kokonaispituus on yhtä suuri kuin aallonpituuden neljännes.

Kuuden reunaehdon yhtälön (yhtälöt 5) ratkaiseminen, kun niihin sijoitetaan asiaankuuluvassa muodossa aaltoyhtälöt ratkaisut (yhtälöt 3) johtaa 6 x 6 determinanttiin, mikä voidaan asettaa suuruudeltaan nollaksi. Tämän determinatin ratkaiseminen aikaansaa monimutkaisen algebrallisen riippuvaisuuden näiden neljän koordinaatin välille. Tämän riippuvaisuuden muoto, mitä kutsutaan ominaisyhtälöksi, on lausuttavissa seuraavassa muodossa:

$$\tan kx_1 = \frac{S_0}{S_1} \sqrt{\frac{k(af-be)\cos k(x_2-x_1) - (cf-ed)\sin k(x_2-x_1)}{k(af-be)\sin k(x_2-x_1) + (cf-ed)\cos k(x_2-x_1)}}$$

$$\text{missä } a = \frac{-\cos k(x_2-x_4)}{x_2-x_4}$$

$$b = \frac{-\sin k(x_2-x_4)}{x_2-x_4}$$

$$c = \frac{k \sin k(x_2-x_4)}{x_2-x_4} + \frac{\cos k(x_2-x_4)}{(x_2-x_4)^2}$$

$$d = \frac{-k \cos k(x_2-x_4)}{x_2-x_4} + \frac{\sin k(x_2-x_4)}{(x_2-x_4)^2}$$

$$e = -(x_3-x_4)k \sin k(x_3-x_4) - \cos k(x_3-x_4)$$

$$f = (x_3-x_4)k \cos k(x_3-x_4) - \sin k(x_3-x_4)$$

Kun valitaan mielivaltaisesti mitkä tahansa kolme näistä neljästä koordinaatista, voidaan laskea neljännelle yksittäinen arvonsa ratkaisemalla ominaisarvoyhtälöt. Kuten tullaan näkemään, osoittautuu, että x_1 on laskettavaksi looginen koordinaatta sen jälkeen, kun

on oletettu arvot suureille x_2-x_1 , x_3-x_2 ja x_4-x_3 sekä sylinterin poikkileikkauksen pinta-aloille. Voidaan todeta, että varsinaiset osittaispituudet x_2-x_1 jne. todella määritellään sen sijaan, että määriteltäisiin itse koordinaatit. Nämä suureet ovat toiminnallisesti vastaavia ominaisarvoyhtälön laskemisessa ja ne johtavat huomattavaan yksinkertaistukseen.

Seuraavia eri näkökohtia täytyy tarkastella valittaessa sopivia arvoja yllä oleville mitoille:

- a) Laipalla varustetun kärjen massan täytyy olla riittävän alhainen, jotta voitaisiin välttää liiallinen kuormitus koko sumuttimessa.
- b) Kartiopinnan täytyy olla riittävän suuren, jotta aikaansaataisiin riittävä sumuttamisen pinta-ala tarkoitetuille virtausmäärille.
- c) Kartiokulma täytyy valita aikaansaamaan haluttu suihkutuskulma.
- d) Tulisi olla olemassa sylinterimäinen osuus kartion pohjalta, mikä on riittävän paksu takaamaan, että koko kärki värähtelee yhtenäisenä jäykkänä kappaleena.
- e) Kärjen täytyy välttämättä olla katkaistu kartio, jotta aikaansaataisiin pieni tasainen pinta ympäröimään keskellä olevaa nesteen syöttöreikää.

Vastakkaiset vaatimukset jäykkyydelle ja pienelle massalle määrittelevät optimin pituuden sylinterimäiselle kantaosalle kartiossa eli mitalle x_2-x_1 . Haluttu suihkutuskulma määrää kartion kärkikulman ja nesteen syöttöreian koko määrää halkaisijamitan x_3 kohdalla. Halkaisijamitta x_2 kohdalla määritellään nyt aikaansaamaan haluttu sumuttamisen pinta-ala. Kärkikulma ja halkaisijamitat kohdissa x_2 ja x_3 määrittelevät tällöin etäisyydet $x_3 - x_2$ sekä $x_4 - x_3$. Tämä jättää jäljelle pienentyneen halkaisijamitan osuuden 0 pituuden x_1 ainoaksi tuntemattomaksi suureeksi. Tämän suureen x_1 arvo lasetaan yllä kuvatusta ominaisarvoyhtälöstä, mikä on nyt muodoltaan:

$$x_1 = \tan^{-1} g(x_2-x_1; x_3-x_2; x_4-x_3; A_0/A_1; k) \quad (6)$$

missä g on algebrallinen lauseke sisältäen trigonometrisiä funktioita näistä parametreista.

Esimerkki

Ultraäänikäyttöinen sumutin suunniteltiin 85 kHz toimintataajuutta varten etummaisena ja taaemman osuuden ollessa valmistettu alumiinista, pietsosähköisten levyjen ollessa valmistettu lyijy-sirkonium-titanaatista (PZT) ja siinä oli elektrodilevy kovakuparista. Koska pitkittäissuuntaisten ääniaaltojen nopeus alumiinissa on noin $5,13 \times 10^5$ cm/s, on neljännes aallonpituudesta toimintataajuudella likimäärin 1,51 cm.

Jotta taattaisiin, että laite värähtelee oleellisesti pelkääntään pitkittäissuuntaisella moodilla, tulisi osien sivuttaisten mittojen olla pienempiä kuin neljännes aallonpituudesta. Koska laitteen vahvistuskerroin on yhtä suuri kuin laitteen rungon ja kärkivarren poikkileikkausten pinta-alojen suhde, tulisi koestinkärjen halkaisijamitan olla niin pienen kuin mahdollista, niin että saavutetaan riittävä värähtelyn amplitudi ylittämään sumutettavana olevan nesteen sumuttamisen kynnyksisarvo. Toiselta puolen on minimimääräinen varren halkaisijamitta rajoittunut tarpeesta nesteen syöttösolaa varten, jotta sillä silti olisi edelleen riittävästi lujuutta ja jäykkyyttä kannattaakseen jäykällä laipalla varustettua kärkeä, mikä on riittävä sumuttamisen pinta-ala ja jotta vältettäisiin värähtelyt poikittaissuuntaisesti eli piiskamaisella moodilla.

Ottaen nämä näkökohdat huomioon, valittiin seuraavassa esitettävät laitteen mitat aikaansaamaan vahvistuskerroin suuruudeltaan noin kahdeksan:

PZT-kide	- 1,27 cm halkaisija x 0,25 cm paksuus
Laitteen runko	- 1,27 cm halkaisijamitta
Varsi	- 0,46 cm halkaisijamitta
Laipalla varustettu kärki	- 0,70 cm kantaosan halkaisijamitta

Haluttua suihkuttamisen kartion kärkikulmaa suuruudeltaan 60° varten tulisi vastaavan kärkikulman kartiomaisessa sumuttamisen pinnassa olla 120° . Sylinterimäisen kannan pituus kartiomaisessa laipassa ($x_2 - x_1$) tulisi olla likimäärin 0,05 cm, jotta taattaisiin, että tämä laippa värähtelee jäykkänä kappaleena. Täten yksinkertaisista geometrisista syistä tulee kartiomaisen pinnan kokonaisakselipituuden laitteen kärkeä varten ($x_4 - x_2$) olla noin 0,20 cm. Todellinen pinta on katkaistun kartion muotoinen etupinnan halkaisijamitan ol-

lessa noin 0,21 cm. Täten on $x_4 - x_3$ pituudeltaan 0,06 cm. Tämä pienentää katkaistun kartion muotoisen pinnan akselinsuuntaisen pituuden ($x_3 - x_2$) olemaan likimäärin 0,14 cm.

Yhteenvedona ovat nyt ennakoilta määritellyt arvot parametreille ominaisarvoyhtälössä

$$\begin{aligned}x_2 - x_1 &= 0,051 \text{ cm} \\x_3 - x_2 &= 0,137 \text{ cm} \\x_4 - x_3 &= 0,066 \text{ cm} \\S_0/S_1 &= 0,428 \\k &= 1,050 \text{ cm}^{-1}\end{aligned}$$

Tästä on tuloksena

$$x_1 = 1,230 \text{ cm}$$

Kokeet, mitkä suoritettiin yllä kuvatun esimerkin mukaisilla mitoilla aikaansaadulla sumuttimella, tuottivat suihkun, millä oli kohtuullinen stabiilisuus ja missä nestettä sumutettiin suurimmalta osalta pintaa kulmassa noin 30° laitteen akseliin verrattuna (toisin sanoen suihkutuksen 60 asteen kartiokulmalla, kuten on osoitettu nuolilla X ja Y kuviossa 2). Sen lisäksi, että tuotettiin haluttu suihkutuskulma, pienensi katkaistun kartion muotoinen sumuttamispinna voimakkaasti sitä määrää, minkä verran sumuttuneet pisarat myöhemmin kasvoivat yhteen verrattuna suihkuun, mikä oli levitetty tasaiselta sumutuspinnalta, jolloin täten aikaansaatiin erittäin tasalaatuinen pisaroiden jakautuma. Kun kokeiltu sumutin asennettiin standardiin öljypolttimeen korvauslaitteeksi tavanomaiselle suuren paineen suihkutussuuttimelle, aikaansaatiin sillä erittäin hyvä, itsensä ylläpitävä liekki, jonka ulkonäkö oli erittäin samankaltainen kuin liekin ulkonäkö alkuperäisestä suuttimesta.

Ne tulokset, mitkä saatiin sumuttimella, mikä oli suunniteltu yllä kuvattujen tarkkojen analyyttisten ratkaisujen mukaisesti, olivat selvänä vastakohtana aikaisemmin kuvatuille koetuloksille, jotka oli saatu sumuttimesta, missä vahvistinkärki oli suunniteltu sillä yksinkertaistavalla olettamuksella, mikä tarvittiin yhtälön käyttämiseksi sylinterimäisen laipan kärjen tapauksessa. Tämä ero tuloksissa on yllättävää, koska erotus varren kärjellä lisättynä kokonaispituudessa likimääräisen ja teoreettisesti tarkan ratkaisun välillä oli suuruudeltaan vain noin 10 %. Tämä osoittaa pitkittäissuuntaisten

mittojen vahvistavassa osuudessa äärimmäisen kriittisyyden kartiomaisen kärjen ultraääntä käyttävässä sumuttimessa tämän keksinnön mukaan.

Jotta suoritettaisiin analyysi loppuun, on toivottavaa laskea kertoimet A_1 ja B_1 yhtälöiden 3 ratkaisuille. Näitä ei tarvita saamaan mitään lisää mittatietoa laitteesta, mutta ne ovat käyttökelpoisia arvioitaessa vahvistimen osuuden rakenteen kokonaishyötysuhdetta. Kuten on jo aikaisemmin mainittu, saadaan absoluuttisia arvoja näille kertoimille ainoastaan, kun jollekin niistä oletetaan tietty mielivaltainen arvo. Tämä tilanne on normaali systeemissä yhtälöitä, jotka ovat nykyisen kaltaisia, jossa ratkaisut vastaavat pakottamattomia värähtelyjä, se tahtoo sanoa, missä ei vaikuta mitään ulkopuolista herätevoimaa tähän kärkiosuuteen.

On luonnollista olettaa mielivaltainen arvo eräälle kertoimista ratkaisussa aluetta 0 varten (yhtälö 4a), koska tämä alue vahvistimen osuudesta kytkeytyy kaksinkertaisen alustan osuuteen suuttimessa. Koska $A_0 = 0$ tuloksena reunaehtotilanteesta yhtälössä 5a valittiin $B_0 = 1$ mielivaltaiseksi arvoksi. Neljä jäljellä olevaa kerrointa laskettiin sitten sijoittamalla yhtälöt 4 reunaehtojen riippuvaisuustilanteisiin yhtälössä 5 ja ratkaisemalla tuloksena olevat yhtälöryhmät.

Tiettyä määrättyä systeemiä varten olivat tulokset:

$$A_1 = 0,150938961$$

$$B_1 = 0,956888663$$

$$A_2 = 0,000039163$$

$$B_2 = 0,364829648$$

Kuviossa 3 esitetään kaaviokuva suhteellisesta siirtymästä paikkaan verrattuna pitkin vahvistinosuutta. Suhteellinen amplitudi määritellään todellisen amplitudin suhteena siihen amplitudiin, mikä vallitsisi kussakin pisteessä, mikäli vahvistinosuus olisi tasainen sylinteri poikkileikkauksen pinta-alaltaan πr_0^2 , missä pituus on aallonpituuden neljännes. Tulee huomata, että kärjen läsnäolo johtaa amplitudin pienentymään määrältään vain noin 3 %.

Patenttivaatimukset

1. Ultraäänisumutin hienoimpien nestehiukkasten hienojakoisen suihkun tuottamiseksi, jossa sumuttimessa on käytin, jonka ulostulotaso aikaansaa ennalta määrättyllä, ultraäänialueella olevalla taajuudella pituussuuntaisen, värähtelevän liikkeen, värähtelyvahvistin, joka on porrastettu ultraäänitorvi, jossa on ensimmäinen lieriömäinen osuus (34), jonka sisääntulopuolinen taso osuu yhteen käyttimen (33) ulostulotason kanssa, ja jonka pituus vastaa neljäsosaa aallonpituudesta käyttötaajuudella, sekä ensimmäisen lieriömäisen osuuden toiseen päähän liittyvä toinen lieriömäinen osuus (35), jonka läpimitta on olennaisesti pienempi kuin ensimmäisen lieriömäisen osuuden (34), ja toisen lieriömäisen osuuden ulompaan päähän liittyvä, laipalla varustettu kärki (36), jolloin laipan läpimitta on olennaisesti suurempi kuin toisen, mutta pienempi kuin ensimmäisen lieriömäisen osuuden läpimitta, ja laipalla varustetun kärjen päätyypinta muodostaa sumutuspinnan, sekä välineet sumutuspinnalla säteittäisesti ulospäin virtaavan nesteen syöttämiseksi sumutettavaksi käyttimellä tuotettujen värähtelyjen avulla, t u n n e t t u siitä, että sumutuspinta (29) on kuperasti kartiomainen pinta, ja ulottuu laipalla varustetun kärjen reunan mukaisesti ja tuottaa näin silloin, kun sumutin herätetään käyttötaajuudella, tämän pinnan yli virtaavien, hienojakoisten pisaroiden olennaisesti kartiomaisesti muodostetun suihkujakaman, jolloin tämän kartionmuotoisen virtauksen akseli kulkee samansuuntaisesti pitkittäisvärähtelyjen kanssa ja kuperasti kartiomaisen pinnan kärkikulma muodostaa supplementtikulman sumutetun nesteen kartionmuotoista virtauskulmaa varten, että lisäksi laipalla varustetussa kärjessä on sumutuspintaan liittyvä, lyhyt lieriömäinen osuus (38), jonka läpimitta on sama kuin kartiomaisen sumutuspinnan kannalla ja joka näin varmistaa, että sumutuspinta aikaansaa ainoastaan pituussuuntaisia värähtelyjä, ja että porrastetun ultraäänitorven mitat vastaavat mittoja, jotka saadaan tulokseksi, kun ratkaistaan ajallisesti muuttumaton differentiaaliyhtälö pituussuuntaisten värähtelyjen etenemiselle kiinteässä väliaineessa, joka saatetaan värähtelemään ennalta määrättyllä ultraäänitaajuudella.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen ultraäänisuodatin, t u n n e t t u siitä, että sumutettavan nesteen syöttämiseksi sumutus-

pinnalle on olemassa lieriömäisten osuuksien ja laipalla varustetun kärjen läpi aksiaalisesti ulottuva reikä (28), jonka aukko on keskellä sumutuspintaa.

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen ultraäänisumutin, t u n - n e t t u siitä, että laipalla varustetussa kärjessä on ohut, renkaanmuotoinen, tasainen pinta, joka ympäröi poistokanavan aukkoa, niin että sumutinpinta on katkokartion muotoinen.

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen ultraäänisumutin, t u n - n e t t u siitä, että värähtelyvahvistimen ensimmäisellä lieriömäisellä osuudella (34) on pituus A, toisella osuudella (35) pituus B ja laipalla varustetulla kärjellä (36) aksiaalinen pituus C ja että summa (B + C) on pienempi kuin A.

5. Patenttivaatimuksen 4 mukainen ultraäänisumutin, t u n - n e t t u siitä, että molempien lieriömäisten osuuksien (34, 35) ja laipalla varustetun kärjen (36) katkokartion muotoisen osuuden aksiaaliset pituudet ovat suhteessa toisiinsa seuraavien yhtälöiden mukaisesti:

$$\tan kx_1 = \frac{S_0}{S_1} \sqrt{\frac{k(af-be)\cos k(x_2-x_1) - (cf-ed)\sin k(x_2-x_1)}{k(af-be)\sin k(x_2-x_1) + (cf-ed)\cos k(x_2-x_1)}}$$

$$\text{missä } a = \frac{-\cos k(x_2-x_4)}{x_2-x_4}$$

$$b = \frac{-\sin k(x_2-x_4)}{x_2-x_4}$$

$$c = \frac{k \sin k(x_2-x_4)}{x_2-x_4} + \frac{\cos k(x_2-x_4)}{(x_2-x_4)^2}$$

$$d = \frac{-k \cos k(x_2-x_4)}{x_2-x_4} + \frac{\sin k(x_2-x_4)}{(x_2-x_4)^2}$$

$$e = (x_3-x_4)k \sin k(x_3-x_4) - \cos k(x_3-x_4)$$

$$f = (x_3-x_4)k \cos k(x_3-x_4) - \sin k(x_3-x_4)$$

ja x_1 on toisen lieriömäisen osuuden (35) aksiaalinen pituus, $x_2 - x_1$ on lieriömäisen osuuden (38) pituus, $x_2 - x_3$ on laipalla varustetun kärjen katkokartion muotoisen osuuden pituus, $x_3 - x_4$ on aksiaalinen etäisyys katkokartion muotoisen osuuden ulommasta päästä kärjen katkokartion muotoisen pinnan sisältävän kartion kärkeen, S_0 on toisen lieriömäisen osuuden poikkileikkauspinta-ala ja S_1 on laipalla varustetun kärjen lieriömäisen osuuden poikkileikkauspinta-ala.

Patentkrav

1. Ultraljudspridare för alstrande av en finfördelad stråle bestående av de mest finfördelade vätskepartiklar, vilken spridare är försedd med en drivanordning, vars utgångsplan vid en förutbestämd frekvens inom ultraljudområdet åstadkommer en längsgående vibrerande förskjutning, en vibrationsförstärkare i form av ett trappformigt ultraljudhorn med ett första cylindriskt parti (34), vars plan på ingångssidan sammanfaller med drivanordningens (33) utgångsplan och vars längd motsvarar en fjärdedel av våglängden vid driftfrekvensen, och ett andra cylindriskt parti (35), som ansluter sig till ena änden av det första cylindriska partiet och vars diameter är väsentligen mindre än diametern av det första cylindriska partiet (34), och en med en fläns försedd spets (36), som ansluter sig till den yttre änden av det andra cylindriska partiet, varvid flänsens diameter är väsentligen större än diametern av det andra, med mindre än diametern av det första cylindriska partiet, och frontytan av den flänsade spetsen bildar en spridningsyta, och medel för matning av den på spridningsytan radiellt utåt strömmande vätskan för att spridas medelst vibrationer som alstrats av drivanordningen, k ä n n e t e c k n a d därav, att spridningsytan (29) uppvisar en konvext konisk form och sträcker sig utmed kanten av den flänsade spetsen och åstadkommer därvid, då spridaren vid driftfrekvensen aktiveras, en väsentligen koniskt utformad strålfördelning av finfördelade droppar, som strömmar över denna yta, varvid axeln av denna koniska strömning löper parallellt med de längsgående vibrationerna och spetsvinkeln av den konvext koniska ytan bildar en supplementvinkel för den koniska strömningsvinkeln av den spridda vätskan, att den flänsade spetsen ytterligare uppvisar ett till spridningsytan anslutande, kort cylindriskt parti (38), vars diameter är lika med diametern av den koniska spridningsytans bas och som därmed säkerställer, att spridningsytan åstadkommer endast längsgående vibreringar, och att dimensionerna av det trappformiga ultraljudhornet motsvarar de dimensioner som erhålls vid lösning av en visavi tiden oföränderlig differentialekvation för framskridande av längsgående vibrationer i ett fast medium som anbringas att vibrera vid den förutbestämda ultraljudfrekvensen.

2. Ultraljudspridare enligt patentkravet 1, k ä n n e - t e c k n a d därav, att ett hål (28), vars öppning befinner sig i mitten av spridningsytan, axiellt sträcker sig genom de cylindriskpartierna och den flänsade spetsen för att den vätska som skall spridas kan tillföras spridningsytan.

3. Ultraljudspridare enligt patentkravet 2, k ä n n e - t e c k n a d därav, att den flänsade spetsen uppvisar en tunn, ringformig, jämn yta, som omger utgångskanalens öppning så att spridarytan har formen av en stympad kon.

4. Ultraljudspridare enligt patentkravet 1, k ä n n e - t e c k n a d därav, att vibrationsförstärkarens första cylindriskparti (34) uppvisar en längd A, andra parti (35) en längd B och den flänsade spetsen (36) en axiell längd C och att summan av B och C är mindre än A.

5. Ultraljudspridare enligt patentkravet 4, k ä n n e - t e c k n a d därav, att de axiella längderna av de båda cylindriskpartierna (34, 35) och av det parti av den flänsade spetsen (36) som har formen av en stympad kon förhåller sig till varandra enligt nedanstående ekvationer:

$$\tan kx_1 = \frac{S_0}{S_1} \sqrt{\frac{k(af-be)\cos k(x_2-x_1) - (cf-ed)\sin k(x_2-x_1)}{k(af-be)\sin k(x_2-x_1) + (cf-ed)\cos k(x_2-x_1)}}$$

$$\text{där } a = \frac{-\cos k(x_2-x_4)}{x_2-x_4}$$

$$b = \frac{-\sin k(x_2-x_4)}{x_2-x_4}$$

$$c = \frac{k \sin k(x_2-x_4)}{x_2-x_4} + \frac{\cos k(x_2-x_4)}{(x_2-x_4)^2}$$

$$d = \frac{-k \cos k(x_2-x_4)}{x_2-x_4} + \frac{\sin k(x_2-x_4)}{(x_2-x_4)^2}$$

$$e = (x_3-x_4)k \sin k(x_3-x_4) - \cos k(x_3-x_4)$$

$$f = (x_3 - x_4)k \cos k(x_3 - x_4) - \sin k(x_3 - x_4)$$

och x_1 är den axiella längden av det andra cylindriska partiet (35), $x_2 - x_1$ är längden av det cylindriska partiet (38), $x_2 - x_3$ är längden av det parti av den flänsade spetsen som har formen av en stympad kon, $x_3 - x_4$ är det axiella avståndet från yttre änden av det parti som har formen av en stympad kon till spetsen av den kon som innehåller spetsens yta som har formen av en stympad kon, S_0 är tvärsnittsytan av det andra cylindriska partiet och S_1 är tvärsnittsytan av det cylindriska partiet i den flänsade spetsen.

Viitejulkaisuja-Anförda publikationer

Patenttijulkaisuja:-Patentskrifter: Ranska-Frankrike(FR) 2 208 505 (F 23 d 11/34).
USA(US) 3 400 892 (239-102), 3 932 109 (F 23 C 3/02), 4 153 201 (F 23 D 11/34).

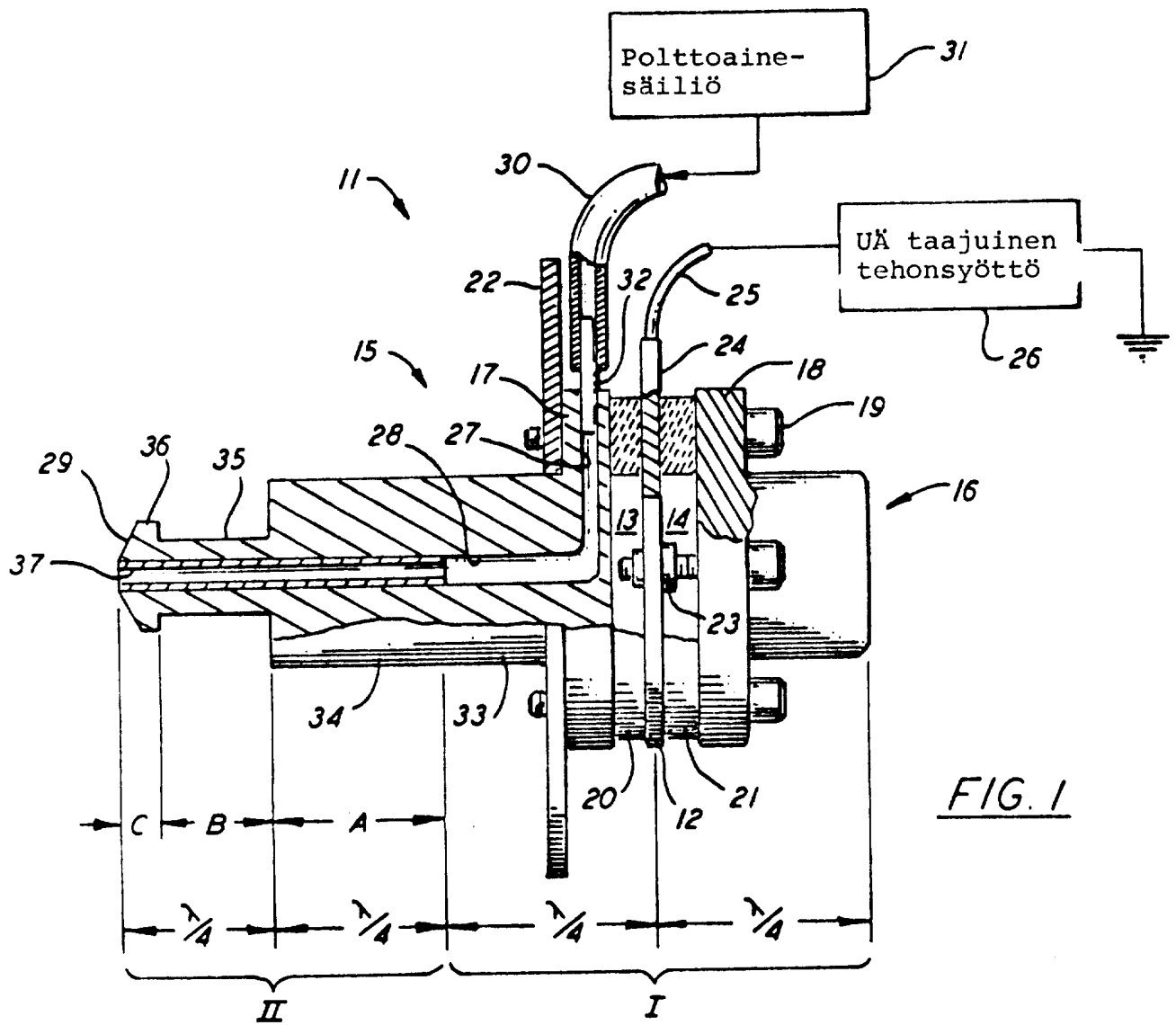


FIG. 1

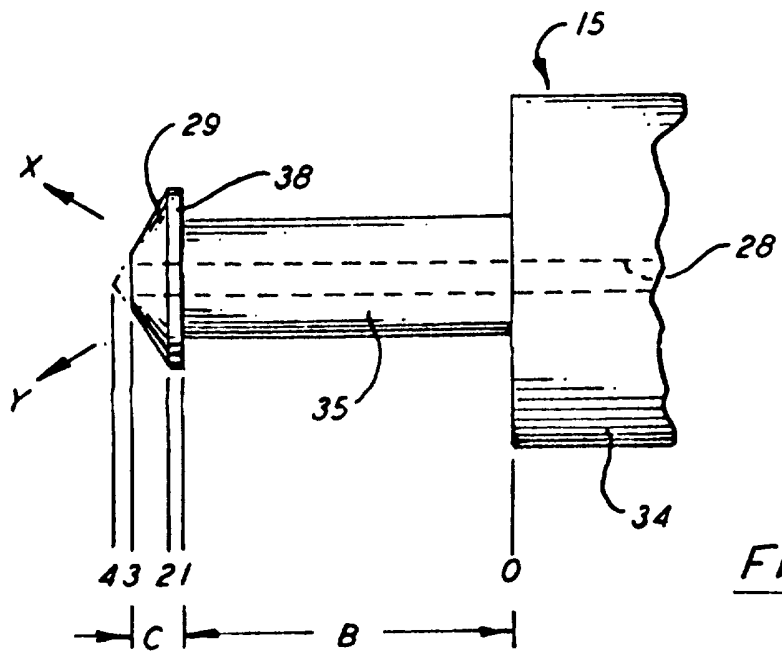


FIG. 2

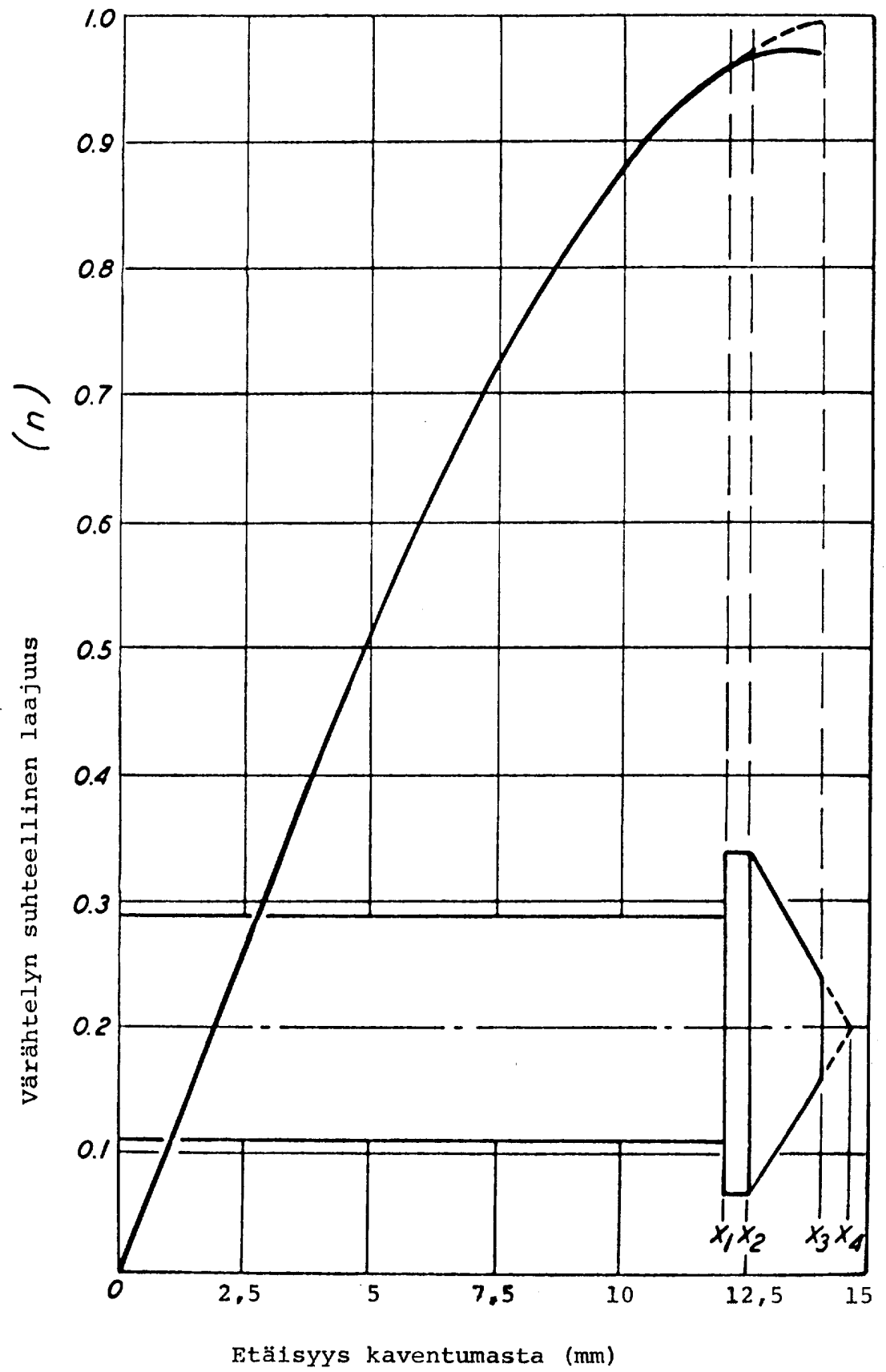


FIG. 3