

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3804973号

(P3804973)

(45) 発行日 平成18年8月2日(2006.8.2)

(24) 登録日 平成18年5月19日(2006.5.19)

(51) Int. Cl.		F I			
	HO2N 2/00	(2006.01)	HO2N 2/00		C
	HO1L 41/09	(2006.01)	HO1L 41/08		C

請求項の数 17 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願平8-514296	(73) 特許権者	ペーイー セラミック ゲーエムペーハー
(86) (22) 出願日	平成7年10月23日(1995.10.23)		ドイツ連邦共和国 デー-07589 レ
(65) 公表番号	特表平10-507900		ダーホゼ リンデンシュトラーセ (番地
(43) 公表日	平成10年7月28日(1998.7.28)		なし)
(86) 国際出願番号	PCT/EP1995/004148	(74) 代理人	弁理士 斉藤 侑
(87) 国際公開番号	W01996/013868	(74) 代理人	弁理士 高橋 剛
(87) 国際公開日	平成8年5月9日(1996.5.9)	(72) 発明者	ヴィシュネヴスキー ヴラディミル
審査請求日	平成14年10月10日(2002.10.10)		ドイツ連邦共和国 デー-07589 ミ
(31) 優先権主張番号	P4438876.4		ュンヘンベルンスドルフ ビルケンヴェー
(32) 優先日	平成6年10月31日(1994.10.31)		グ 12
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	審査官	牧 初
(31) 優先権主張番号	19522072.2		
(32) 優先日	平成7年6月17日(1995.6.17)		
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧電モーター

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

閉じた導波管であってその導波管に弾性進行波を発生するのに適した少なくとも一つの発生器を有する導波管で構成された振動子を含むステータと、前記振動子の環状の動作面と摩擦接触しているロータとを有する圧電モーターにおいて、前記発生器は前記進行波の長さに等しい長さを前記導波管の周方向に沿って有し、前記発生器は等しい振幅と波長の弾性縦定常波を発生する基本発生器と二つのブースタとで構成され、前記ブースタの一方は前記基本発生器に対し前記導波管の周方向に沿って縦定常波の波長の + 1 / 3 だけ偏倚し、前記ブースタの他方は前記基本発生器に対し前記導波管の周方向に沿って縦定常波の波長の - 1 / 3 だけ偏倚し、励起源が前記基本発生器と前記ブースタとへ接続され、前記ブースタとそれぞれに接続された励起源とが、前者により発生された縦定常波が前記基本発生器により発生された縦定常波に対し + 2 / 3 と - 2 / 3 とだけ少なくともほぼ位相ずれしているように構成され、前記導波管の周方向の長さは、縦定常波の波長、又は前記波長の整数倍に等しいことを特徴とする前記圧電モーター。

【請求項2】

請求の範囲第1項に記載の圧電モーターにおいて、前記ブースタの一方は、それが、前記ブースタの他方と前記基本発生器との組み合わせで、電圧源により送られた電圧に関する電圧分配器として、又前記ブースタの他方と前記基本発生器とにより分配された電圧に関する加算器として動作するように、前記ブースタの他方と前記基本発生器とにより決定されることを特徴とする前記圧電モーター。

10

20

【請求項 3】

請求の範囲第 1 または 2 項に記載の圧電モータにおいて、前記閉じた導波管が金属又はセラミックで製作された円柱状本体であり、前記発生器における基本発生器と二つのブースタが並列な電極の区画を構成していることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 4】

請求の範囲第 3 項に記載の圧電モータにおいて、前記閉じた導波管が金属又はセラミックで製作された受動的円柱状本体であり、前記発生器における基本発生器と二つのブースタが前記本体に取り付けられた圧電変換器のパケットであることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 5】

請求の範囲第 4 項に記載の圧電モータにおいて、前記振動子の前記動作面が前記ローターと接触する薄い耐磨耗性摩擦層で被覆されていることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 6】

請求の範囲第 5 項に記載の圧電モータにおいて、前記摩擦層が、圧電セラミック、例えばガラス、金属又は全ての他の材料との化合物を形成する材料で全体的に製作されていることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 7】

請求の範囲第 6 項に記載の圧電モータにおいて、前記摩擦層が基層と中間層とから構成され、前記基層が摩擦特性を決定し、前記中間層がピエゾセラミックと基層との化合物を生成していることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 8】

請求の範囲第 7 項に記載の圧電モータにおいて、前記摩擦層が合成材で製作され、前記材料の基材がピエゾセラミックとの化合物を形成し、前記摩擦層の摩擦係数を増加する充填材が使用されていることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 9】

請求の範囲第 8 項に記載の圧電モータにおいて、前記摩擦層が高い摩擦係数の多孔性材料で製作され、前記孔がピエゾセラミックとの化合物を形成している異なる材料で充填されていることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 10】

請求の範囲第 1 ~ 4 項に記載の圧電モータにおいて、前記二つのブースタの励起源が移相連鎖を介して前記基本発生器の励起源へ接続された出力増幅器であることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 11】

請求の範囲第 10 項に記載の圧電モータにおいて、前記ブースターの励起源が位相角の極性反転の手段を備えていることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 12】

請求の範囲第 10 項に記載の圧電モータにおいて、前記基本発生器の励起源が周波数制御電圧源を形成していることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 13】

請求の範囲第 1 項に記載の圧電モータにおいて、前記基本発生器とそれに対応する励起源とが正のフィードバック分岐を備え、且つそれらの構成要素において、電気機械的帰還形自動発生器を構成していることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 14】

請求の範囲第 12 項に記載の圧電モータにおいて、前記正のフィードバック分岐が定常波を発生する前記基本発生器へ直列に接続されているインピーダンスへ接続されていることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項 15】

請求の範囲第 12 項に記載の圧電モータにおいて、前記正のフィードバック分岐が定常波を発生する前記基本発生器へ直列に接続された電流反転回路へ接続されていることを特徴とする前記圧電モータ。

10

20

30

40

50

【請求項16】

請求の範囲第12項に記載の圧電モータにおいて、前記正のフィードバック分岐が前記基本発生器により発生された定常波の最大機械的応力の点に配置されたフィードバック電極へ接続されていることを特徴とする前記圧電モータ。

【請求項17】

請求の範囲第13項に記載の圧電モータにおいて、前記モータが前記正のフィードバック分岐を遮断する制御入力を有する電子スイッチを備えていることを特徴とする前記圧電モータ。

【発明の詳細な説明】

本発明は、請求の範囲の特質による、詳細には、連続または段階的回転運動に適した小型電気モーターとして使用される圧電モーターに関する。本発明によるモーターは、自動化システム、ロボット技術、カッターを正確に位置付ける工作機械、スクリーンワイパーモーター、窓ガラス昇降モーター、およびシートアジャスターの駆動装置として車両に使用される。それは、テレビアンテナの無慣性駆動装置および比較的低い回転速度において大きいモーメントの回転を必要とする機器にも使用される。

圧電モーターは、電気エネルギーが圧電振動子によりローターの回転運動へ変換されることで知られており、この振動子は、例えば、米国特許明細書4,019,073に開示されているように二つの異なる定常波の二つの共振子から成っている。この種類のモーターによって、二つの異なるタイプの定常波を広範囲の温度と機械的応力の下で整合することは困難である。前記不利な点は、一様な定常波により音響進行波を発生する原理に基づいている圧電モータに固有のものではない(参照:アクセル・フリュセラー、圧電進行波モーターの分析、ディッセルタティオン、シュットガルト、1992年、48頁)。これらのモーターは、音波を使用するため不利であり、進行波を発生するピエゾエレメントが、弾性有機接着剤により金属導波管へ接着された薄いリングとして具現化されることを必要としている。

弾性波と小容量のピエゾエレメントにより、導波管の全容量と比較して、電気機械エネルギー変換の効率は低く、これは、モーターの励起電圧をかなり高めることが必要である。ピエゾエレメントと金属導波管とを有機接着剤で接続すると、最大機械的モーター出力を制約され、その効率と信頼性は低下する。このような進行波を採用しているモーターのピエゾエレメントは、圧電進行波モーターが安価な電磁モーターと競合出来ないように、製造を困難にし、モーターを高価にする多様に指向された分極を呈する。

本発明の目的は、高効率振動子を有し、低励起電圧において、最大機械的出力、高信頼性、および低価格を確実にする圧電モーターを提供することである。さらにほかの目的は、進行波が同一振幅の音響縦波を発生することによりモノリシックな圧電振動子に発生される圧電モーターを提供することであり、前記進行波は、ローターへ連続的に弾性接触して、振動子の摩擦面を移動し、振動子表面上の閉じた路を移動する点によりトルクをローターへ加える。

本目的は、第一請求の範囲の特徴により実現する。本発明によるモーターの最大実現可能な単位体は、圧電材から、好適にはセラミックから選択され、音波の発生のために使用されるので、モーターは潜在的に可能な有効な電気機械効率係数を呈し、その結果、励起電圧がかなり低下する。さらに、本発明により示唆される解決策により、主として有機成分から成る接着剤による導波管へのピエゾエレメントの接着は削除される。これにより、モーターの振動子への最大機械的応力が、従って、最大機械的出力が、セラミックの安定性によりのみ制約されて可能になる。本発明のモーターのピエゾエレメントは、単方向へ極性化され、類似の電磁モーターと対照的にその製造を簡素化し、低廉にする。

本発明は、多様な修正により実現することが出来る。例えば、本発明の一つの実施態様において、進行波の二つの独立した発生器を第三の発生器へ二つの最初の発生器に従って、第三の発生器が、電圧発生装置により送られた電圧に対し電圧分配器として、および最初の二つの発生器により分圧された電圧に対し加算オペレータとして二つの発生器と協働するように、整合することが可能である。三つの発生器は、円筒、円錐、または円盤状

10

20

30

40

50

の圧電単位体に取り付けられる。これは、進行波発生器の励起源無しで作動するので、構造の単純化を可能にする。本発明のほかの有利な実施態様は、定常波発生器が平行な電極の区画として構成されている piezoelectric セラミックで製作された円筒状の単位体として具現される場合、得られる。この変形により、全振動子単位体は、圧電活性媒体として動作し、このようなモーターは、実現可能な最大電気機械効率を有する。この場合、モーターの電氣的励起電圧は最小である。この発振器の設計では、有機接着剤を使用した接着接合部が少しもないので、導波管材料の強度が制約されるだけで、最大可能な機械的応力が振動子に発生する。これは、振動子の動作面上の点の振動運動を最大にし、従って、モーター軸の機械的出力を最大にする。有機接着剤の使用による接着された接合部が少しもなく、振動子内の機械的損失が減少し、効率を高める。その上、高い励起レベルにおける接着接合部の分解がないので、モーターの信頼性が増大する。さらにほかの有利な実施態様の場合、閉じた導波管は、金属またはセラミックで製作された受動的円柱状の単位体の形状であり、圧電変換器のパケットが定常波発生器に配列されるように、定常波発生器が形成される。この場合、モーターの振動子は、どのような希望する寸法を取ることが出来る。後者の実施態様波、圧電円柱の製造技術に制約されない。従って、数キロワットの出力の圧電出力モーターを形成することが可能である。

10

本発明により、振動子の動作面には、ローターと動作可能接触している薄い耐摩耗性摩擦層が形成されている。この実施態様は、振動子の動作面の摩擦性能を、モーターの回転運動を向上する動作面により事前セットすることが出来る。

本発明の一つの実施態様において、この摩擦層は、ガラス、金属、またはすべてのほかの適切な材料などの圧電セラミックとの化合物を形成している材料で全体的に製作されている。摩擦層が化合物を振動子と形成しているモーターは、破壊せずに、振動子の最大許容機械的応力まで動作する。さらにほかの有利な解決策により、摩擦層は、基盤層と中間層とから構成している。基盤層は摩擦特性を決定し、中間層は piezoelectric 材との化合物を形成している。このような実施態様は、適切な摩擦材の数をかなり倍増する。一連の変形において、摩擦層は、piezoelectric セラミックとの化合物を形成している材料をベースとした材料の混合物から構成しており、また、充填材として、摩擦層の摩擦係数を高める材料を使用している。この実施態様により、摩擦層の希望の波抵抗を、使用材料の間の比率を変化することにより、選択することが出来る。さらにほかの実施態様において、摩擦層は、高い摩擦係数と高い機械的強度の多孔性材料から製作され、前記材料の孔は、piezoelectric セラミックとの化合物を形成している材料で充填されている。この方法で、モーターの長期使用をステップ動作において確実にする非常に強固な摩擦層を製作することが可能である。

20

30

有利なことに、電力増幅器が、この本発明の圧電モーターの電気回路に使用されており、前記増幅器は、移相連鎖を経て基本発生器の励起源へ接続され、ブースターの励起源である。この実施態様は、温度とこの発明性モーターの信頼性を改善する機械的負荷とに関して、広範囲で発生器の鋭い微調整を可能にしている。

さらに、好適な実施態様において、ブースターの励起源に信号の位相角を反転する手段を備えることが可能である。これは、ローターの回転方向の逆転を可能にする。本発明により、基本発生器を一つの周波数入力を有する周波数制御された電圧発生器により構成することもできる。このような変形は、ローターの回転周波数の安定した制御を基本励起源の周波数の変化により可能にする。

40

ほかの変形において、圧電モーターは、基本発生器が定常波のその励起源への正のフィードバックを有し、および、組み合わせで、電気機械の自動発生器を構成し、定常波発生器の周波数が振動子の共振周波数の範囲に常にあり、このようにして、ローターの回転周波数の安定性を向上するように、圧電モーターが具現化されている。本発明のモーターの実施態様において、正のフィードバック分岐を、定常波基本発生器へ直列接続された電流変換器へ直列接続されたインピーダンスへ接続することが可能である。正のフィードバック分岐を、定常波基本発生器へ直列に接続された電流変換器へ接続することも可能である。最後に、正のフィードバック分岐は、発生器により生成された定常波により、最大機械的応力が発生する場所に配列されたフィードバック電極へ接続することが出来る。

50

前述の最後三つの実施態様は、振動子共振周波数における電気機械発生器の安全な励起を確実にする。モーターのさらに有利な実施態様は、正のフィードバック分岐を接続解除する電気回路を備えている。この場合、ステップ制御は、容易に行われ、ステップモーターの適用を可能にする。

本発明のそのほかの特徴は、図の以降の説明から明らかになる。説明図により、本発明は、34の実施態様により詳細に説明されるであろう。

- 図1 発明性モーターの実際の構成要素の斜視図
- 図2 振動子の展開図
- 図3 励起電圧図
- 図4 印加された励起電圧による発明性振動子の定常波の変形 10
- 図5 励起電圧図
- 図6 定常波を発生するときの振動子動作面の瞬間状態
- 図7 動作面を変形するときの重畳過程を表す図
- 図8 定常波を発生するときの振動子動作面上の点の移動経路の全体図
- 図9 定常波を発生するときの振動子動作面上の点の移動経路図
- 図10 振動子動作面上の点の移動経路の発生展開図
- 図11 振動子動作面の点の位相移動図
- 図12 動作面上の点の実現可能な移動線
- 図13 要素容積とその等価回路の図
- 図14 発明性振動子の等価回路の全体図 20
- 図15 前記進行波の等価回路の簡略図
- 図16 発明性モーターの電気機械変数
- 図17 振動子の変形
- 図18 耐磨耗性層の変形
- 図19 異なる電極の変形
- 図20 特殊な電極の配置
- 図21 非対称進行波
- 図22 振動子制御の基礎となる基本原理を説明する構成図
- 図23 二つの独立した発生器と後者に依存する一つの発生器から成る振動子
- 図24 図23の等価電気回路 30
- 図25 振動子自己励起の構成図
- 図26 周波数制御された自動発生器を有する構成図
- 図27 電気機械自動発生器配列の構成図
- 図28 電流変換器の構成図
- 図29 フィードバック電極とその動作モード
- 図30 フィードバック電極を有する構成図
- 図31 ステップモーターの構成図
- 図32 長方形振動子を有するモーター設計の縦断面
- 図33 図32の振動子の平面図
- 図34 環状振動子を有するモーター設計 40
- 図35 衝撃を受けた格納体内のモーター設計の断面図
- 図36 図36のモーター設計の部分断面された平面図
- 図37 図38の軸A-Aに沿った軸断面上のパケット変換器を有するモーター設計
- 図38 図37の平面図
- 図39 環状磁石から成るモーター設計の軸断面
- 図40 周波数制御された自動発生器を有する基本回路図
- 図41 電気機械自動発生器として使用された第一モーター回路
- 図42 電気機械自動発生器として使用された第二モーター回路
- 図43 ステップモーターとして使用された発明性モーターの基本回路図
- 図44 後者に依存している二つの独立した発生器と一つの発生器とを有するモーターの 50

基本回路図

図 1 に従い、発明性圧電モーターは、圧電セラミックで製作された閉じた導波管 3 の形状の円柱状振動子 2 を有するステーターから構成している。導波管 3 は、弾性進行波を導波管 3 の単位体に発生する少なくとも一つの発生器 4 を備えている。示された実施態様において、ローター 6 は、その自重で振動子 2 の前面（動作面）5 を押しつけている。振動子 2 のもう一つの非動作面 7 は、示されていない装置の格納体に配列された弾性遮音ベース 8 に置かれている。振動子発生器 4 は、基本発生器 9 と定常波を発生する二つのへほかの発生器（ブースター）10, 11 から構成している。発生器 9, 10, 11 のそれぞれは、円柱状導波管 3 の等しい大きさの区画 12, 13, 14 を占有しており、中間圧電セラミックを有する二つの平行な電極 15, 16 から構成している。電極 15, 16 のそれぞれは、円柱状導波管 3 へ縦軸方向に固定された導電金属層を表している。発生器 9, 10, 11 を作動させるために、電極 15, 16 の間に設けられた圧電セラミックは、前記電極に対し垂直に分極される。図 1 と後に続く図とにおいて、分極化は、矢印 150 により示されている。

定常波発生器のそれぞれは、励起源（電圧源）17, 18, 19 を有する。各励起源 17, 18, 19 の接触部 20, 21 は、各発生器 9, 10, 11 の電極 15, 16 へ接続している。各電圧

$$U_1 = U \cdot \sin \omega t, \quad U_2 = U \cdot (\sin \omega t \pm 120^\circ), \quad U_3 = U \cdot \sin (\omega t + 120^\circ)$$

は、接触部 20, 21 の間に、従って、定常波発生器 9, 10, 11 の電極 15, 16 の間に印加される。

図 2 において、展開された導波管 3 が示されており、高さ h と幅 b を有する。中心線 22 に沿った導波管 3 の長さは、定常波発生器 9, 10, 11 により導波管内で発生する波長の整数倍でなければならない。中心線 22 に沿った各定常波発生器 9, 10, 11 の長さは、 $b/3$ である。ブースター 10, 11 は、基本発生器 9 に対し中心線 22 に沿って各量 $\pm b/3$ だけ偏倚している。定常波発生器 9, 10, 11 の各グループは、進行波発生器 4 を構成している。円柱状導波管 3 の中心線に沿って進行波発生器 4 により占有される距離は、波長 λ に等しい。発生器 4 の数は、希望により選択され、導波管 3 の中心線 22 の長さにより決まる。図 2 に示された導波管 3 は、5 個の進行波発生器を有する。5 個の発生器 4 は、電氣的に並列に接続されている。各励起源 17, 18, 19 の接続部の回路構成は、発生器 9, 10, 11 の各電極 16 へ接続している。図 2 において、励起源 17, 18, 19 の接続部 21 は、相互に接続し、発生器 9, 10, 11 の共通電極である電極 15 へ接続している。励起源 17, 18, 19 は、相互に位相がずれた、等価の振幅と等価の周波数の正弦波の電圧を送る。励起源 17 の電圧に対する励起源 18, 19 の電圧の位相ずれは、 $\pm 2/3$ ($\pm 120^\circ$) である。図 3 は電圧曲線図である。電圧 U_1 は励起源 17 から送られ、 U_2 は励起源 18 から、および U_3 は励起源 19 から送られる。

図 4 において、縦定常波が導波管 3 に示されており、従って、発生器 9, 10, 11 の一つの発生器により生成される動作面 5 において、各発生器は、各励起源 17, 18, 19 の正弦波電圧 $U_1 = U \cdot \sin \omega t$ により励起される。図 4 に示された導波管 3 は、8 個の並列に接続された同等の定常波発生器 9, 10, または 11 を有する。前記発生器は、16 の最大と最小をそれぞれ有する定常波を発生する。同等発生器 9, 10, 11 の数は、進行波発生器 4 の数により決まる。導波管 3 のこの変形では、8 個でなければならない。この発明性モーターが動作している間、定常波発生器 9, 10, 11 は、同一振幅と周波数の三つの定常波を発生し、この定常波は、導波管 3 の中心線 22（図 2）に沿って相互に $b/3$ だけ離れてずれている。前記定常波の位相は、 $\pm 2/3$ ($\pm 120^\circ$) だけ相互に異なる。

これから以降に、発明的圧電モーターの基本動作が図 1 ~ 16 に関連して詳細に説明されている。励起源 17, 18, 19 から送られた励起電圧 U_1 、 U_2 、 U_3 （図 3）は、各定常波発生器 9, 10, 11 に印加される（図 1 と 2）。各電圧は、各発生器 9, 10, 1

10

20

30

40

50

1を制御する。前記発生器は、振動子2の導波管3において、同一振幅の三つの同一縦定常波を発生し、この定常波は導波管の中心線22に対し、相互に $\pm \lambda / 3$ だけずれて離れ、角度 $\pm 2 / 3$ ($\pm 120^\circ$)だけ時間に依存してずれている。前記定常波が図4に示されている。振動子の振動振幅($2 \sim 10 \mu\text{m}$)は、その大きさ($20 \sim 100 \text{mm}$)に対し小さいので、各定常波は相互に独立して発生する。それらは相互に独立して存在し、振動子2の動作面5を相互に独立して変形する。動作面5にほぼ直角の振動子2の点の変位は、各個々の定常波の動作によって正弦法則に従って変化し、これにより、動作面5の点の変位は、この法則に従い、正弦波の励起電圧の変化に従う。図5は、一つの振動周期の時間 $t_0 \sim t_8$ の与えられた周期について、定常波発生器9, 10, 11の一つの電圧位相図を示す。

10

図6は、時間 $t_0 \sim t_8$ の周期の間の振動子2の動作面5の運動の位相を示している。図において、動作面5の点 a_0 が示されており、この点は、定常波の横方向速度の極値にある。前記点は、動作面5に直角な直線(破線で示されている)上を振動する。三つの定常波が振動子2に同時に生成されると、それらは重畳される。定常波により発生した振動子2の変形は合計され、従って、動作面51の変形を行う。

図7において、動作面5を変形する重畳動作が示されている。位置の表示23, 24, 25は、発生器9, 10, 11にかかる励起電圧 U_1, U_2, U_3 の瞬間値の時点 t_1, t_2, t_3 に対応する(図3)。図7において、破線26, 27, 28は、各定常波により発生した動作面5の変形状態を示す。実線29は、動作面5の重畳された変形の特性を示している。図23, 24, 25(図7)から、振動子2の動作面5の重畳された変形は、振動子2の進行波29であることが見て分かる。前記進行波は、定常波の波長 λ に対応する一振動周期の路長を進む。進行波の振幅は、一つの定常波の振幅の1.5倍に等しい。

20

図8より、基本的に異なる運動構成が、振動子の動作面5上の点に関し可能である。最初のケースでは、点 $a_0 \sim \pm a_5$ は、定常波が膨れ、いわば、動作面5が膨張すると、ピークの範囲で動いて離れる。第二のケースでは、点 $a_0 \sim \pm a_5$ は、相互に近づく。動作面は圧縮される。最初のケースは、最初のケースは、振動子2が低い機械的品質であり、ピエゾセラミックが高い電気機械結合係数を有する場合に、起こる。振動子電極15, 16間の電界の力は、優勢に振動子2の点に作用する。励起領域の大きさと符号に従って、振動子2のすべての点は、相互に離れ、または近づき、点の移動路は、傾斜した曲線または閉じた楕円である。

30

図8は、定常波が振動子2において発生するとき $\lambda / 2$ である、導波管、3の波長範囲内の点 $a_1 \sim a_5$ の全運動図を示す。点 $a_1 \sim a_5$ (図8)の運動線は、破線の曲線で示されている。導波管3(振動子2)は、交互に膨らみ(点 $\pm a_1' \sim \pm a_5'$)、振動子の接触部は膨らむ(点 $\pm a_1'' \sim \pm a_5''$)。垂直の振動子成分の最高点における点 a_0 が、面5に対し直角な直線上を運動することは、図8に示された点 $a_0 \sim a_5$ の運動進路から明らかである。振動子2の円柱状導波管3は、弾性力により相互に保持されている微粒子の有限の大きさの弾性単位体を表す。その結果、縦定常波が励起されると、導波管3(振動子2)の点は、図8に示されているように、交互に相互に離れ、近づく進路の傾斜した経路に沿って運動する。極値の点だけが、円柱状導波管3の面に直角な直線路上を運動(振動)する(図6と8を参照)。前記点は最大横振幅 y_{max} を有する。残りの点は、図8に示されているように、導波管の面に対し傾斜した経路に沿って進行する。中心点 a_0 への距離が増加するにつれて、その横振幅(y方向に沿って)は減少する。これは、最高点の点 a_0 (線)から一定距離だけ離れた動作面5の各点 a_n が、横と縦の成分の速度を有する理由を説明している。中心点 a_0 の両側の距離(点 $+a_n$ と $-a_n$)が増加するにつれて、速度の縦成分(x方向)は増加し、距離 $\pm \lambda / 4$ の距離において、横振幅は、最大値 X_{max} に達する。横成分yは、この点において最小である。非線形進路(曲線)は、大きい振動振幅において導波管材料の異物によるもので、これは実際には除去することは出来ない。

40

図9は、振動子2の動作面上の点 $a_0 \pm a_3$ の運動の第二のケースを説明している。このケースは、振動子2の高い機械的力と振動子2のピエゾセラミック材の低い電気機械的品質

50

の結合係数とにおいて起こる。このケースにおいて、音波の運動により振動子の単位体を圧縮し、膨張する機械的力が、点の運動の主な理由である。実際に、点の移動路は、振動子面に対しある角度で傾斜している楕円形の相似形を形成している。振動子の動作面 5 上の点の運動に関するこの二つの評価されたケースのそれぞれは、本発明のモーターの基本的動作原理を変えていないが、ローター 6 の回転方向に関しては、基本的差異がある。

図 10 によれば、進行波が振動子の導波管 3 に発生すると、振動子 2 の動作面 5 上の各点は、その後、 $a_0' \sim a_n'$ および $a_0'' \sim a_n''$ からすべての点の位置を通り、一般に楕円であり、特殊な場合、円である閉じた経路に沿って進行する。進行波の進行方向は、矢印 151 により示されている。楕円の最大高さは、最大横振幅 y_{max} の 2 倍である。楕円の最大幅は、最大縦振幅 x_{max} の 2 倍である。縦と横の成分により傾斜した位相角は、常に 90° である。横成分 y がゼロに等しいとすると、最大縦成分 x は最大値を得、縦成分 x が最大値である場合、横成分 y はほぼゼロである。各点 a_n は、点 $a_{n \pm 1}$ と異なる楕円経路の点の進行路を有する。図 11 は、動作面 5 上の点の進行路を示している。与えられた時点において、進行波のピークにある点 a_0 は、ローター 6 と接触していることが分かる。摩擦力により、動作面 5 の前記点は、ねじりモーメントをローター 6 へ伝える。前記接触が実際に面接触であるように、ローターの材料は、ある一定の柔軟性を備えており、接触面は、ローター材の弾性とローター 6 を振動子の動作面 5 へ押しつける反発力とに依存する。いわわば、進行波の波ピーク上の一定数の点は、ローターと接触して、ねじりモーメントを後者へ伝え、波の谷間の点は、逆方向へ運動する。一つの振動周期の間、動作面 5 の各点は、その進行路を完全に通過する。ローター 6 と接触している動作面 5 の面部分の数は、振動子の中心線 22 の長さに対応する波長の数に等しい(図 13)。

楕円の回転方向またはローター 6 へ接触している点の進行方向は、振動子材の膨張時点における定常波のピークの点(図 8 と 9)、相互に離れるか、または、近づくかにより決まる。点が相互に離れると、楕円とローター 6 は進行波の伝搬方向に対し反対方向へ回転する。点が相互に近づくとき、楕円とローター 6 の回転方向は、進行波の伝搬方向と一致する。この場合はここでは考察されていない。縦と横の成分の関係 x/y 、即ち、発明性モーターの運動進行路は、波長の導波管の高さ h に対する比により本質的に定義される。前記比が大きくなるにつれて、楕円は動作面 5 に沿って大きくなる。前記比が小さくなると、点の進行路は円形路に近づく。振動子(導波管)の幅と振動子材の弾性は、成分比 x/y への影響が小さい。動作面 5 の点の進行路が、ほぼ円形であるモーターの場合、波長の導波管の高さ h に対する比は、約 2 である。図 12 は、動作面 5 上の点の可能な進行路を表している。すなわち、位置 30 は、動作面 5 に対し直角な楕円を示し、位置 31 は円形進行路、位置 32 は、動作面 5 に沿って伸張している軸比 1.5 の楕円、および位置 33 は、軸比 4 を有する楕円を示している。動作面 5 に沿って伸張し、2 ~ 5 の範囲の成分比を有する楕円形の進行路(図 12 の位置 32 と 33)は、本発明性モーターの動作に関して最適である。この場合、動作面 5 の接線方向へ指向したエネルギーの流れは、前記面へ直角に指向したよりも 4 ~ 25 倍であり、すなわち、ステーターのエネルギーの大きな部分は、潜在的にローターのエネルギーへ変換される。円形進行路(図 12, 位置 30)は、臨界的場合である。動作面 5 に垂直に伸張している長方形楕円(図 12, 位置 30)に関して、ステーター 2 のエネルギーの主要部分は、モーターのローター 6 へ入り、後者を励起し、熱へ変換される。それが、このような進行路が望まれない理由である。動作面 5 に沿って伸張している極端に長方形楕円の場合(示されていない)、ローター面へ直角に指向したエネルギーは、振動子 2 とローター 6 との間の摩擦接触を確立するに十分でない。このようなモーターの場合、エネルギーの大きな部分は、特に、熱として振動子 2 から放出される。従って、本発明性モーターの振動子 2 は、点の進行路により決定される最適幾何学形である。このような幾何学形は、発生した定常波の長さの振動子 2 (導波管 3) の高さ h に対する比により決定される。最適比の実値は、振動子 2 の弾性特性とその幅 b に依存し、 $0.25 \sim 0.5$ の範囲にある。相互に独立して、振動子 2 の定常波 9, 10, 11 は、前記発生器が独立した電気機械的振動装置として見なされるように、音響定常波を発生する。従って、図 13 の位置 34 に示されているように、

10

20

30

40

50

定常波発生器を有する振動子 2 の各発生器 9, 10, 11 に対し長さ の基本量を選択することが出来る。このような量は、長さ / 2 の電極を有する長さ のの基本独立振動装置として、すなわち、2 モード圧電共振器として見なされる (図 13、位置 35)。このような共振器の等価電気回路が、図 13、位置 36 に示されている。この回路は、次の成分からなる：

- 静電容量

$$C_0 = s / b \cdot \epsilon_{33}^T (1 - K_{312})、ここで s は電極の面積である。$$

- 次の変換係数を有する理想的電気機械変換器

$$N_p = b / 2 \cdot d_{31} / S_{11}^E$$

- 機械的容量

$$C_M = \epsilon_{11}^E / b \cdot h$$

- 機械的誘導力

$$L_M = m、ここで、m は基本量の質量である。$$

- 機械的振動子の損失

$$R_M = L_M / \epsilon_0 G、ここで、\epsilon_0 G はモーターの有効品質である。$$

変換器の発生器 4 の全等価回路は、定常波発生器 9, 10, 11 の三つの同一等価回路 37, 38, 39 (図 14) の集合体として見なすことが出来る。全等価回路において、等価回路 37, 38, 39 のそれぞれは、各励起源 17, 18, 19 へ接続している。各等価回路 37, 38, 39 の出力は、摩擦変換器 40 へ接続している。全等価回路へ与えられた摩擦変換器 40 は、発明性圧電モーターの摩擦接触を反映する。それは、摩擦損失の抵抗 R_F と、振動子 2 の振動をローター 6 の回転運動へ変換する理想的変換器から成っている。ここで、

$$N_F = M / F_{\perp}、M = \text{一定ねじりモーメント}$$

$$F_{\perp} = \text{可変力}$$

は変換係数にたいし有効である。

摩擦変換器 40 の出力は、機械的負荷 R_L へ接続している。

図 14 に示された等価回路は、圧電モーターが振動子 2 の機械的共振周波数において動作するとすると、図 15 に示されているように単純な回路に変換される。前記等価回路において、変数 $U_1', U_2', U_3', R_M', R_F'$ は、図 14 の回路の機械的部分へ変換される。発明のモーターは、圧電モーターの従来の電気機械的特性を呈する。実際に、振動子の機械的損失の抵抗 R_M は、振動子 5 のインピーダンス L_M よりかなり小さい。従って、モーターの周波数依存は、図 16 の位置 41, 42, 43 に示されているような形状を呈する。位置 41 は、励起周波数 f の関数として回転周波数 n を表し、位置 42 は励起周波数 f の関数として位相電流 I_F (定常波発生器 9, 10, 11 の一つの電流)、および位置 43 は、励起電圧 $U_1 (U_2, U_3)$ と位相電流 I_F の関数として位相ずれ ϕ を表している。41, 42, 43 のすべての特性値は、代表点を経て相互に接続している。従って、回転周波数の最大値 n_{max} は、振動子の機械的共振周波数 $f_0 (f_0)$ と一致する。前記周波数は、入力電圧 $U_1 (U_2, U_3)$ と位相のそれぞれの入力電流 I_F との間のゼロ位相ずれ (位置 43) を示している。最大電流 I_{Fmax} は、機械的共振周波数 f_0 から左の周波数 f_{imax} にある。電流関数 42 は、振動子 6 の反共振周波数 f_a に第二のゼロ位相を有する。入力電圧 $U_1 (U_2, U_3)$ と位相電流 I_F (43) との位相ずれは、 $f_0 \sim f_a$ の範囲で正である。それは、励起周波数の残りの範囲で負である。すべての三つの関数は、連続関数であり、すなわち、非定義状態はない。図 16 の位置 44 は、制御電圧の関数、すなわち、モーターが機械的共振周波数 f_0 において動作するときの回転周波数 n の依存性を励起電圧 $U_1 (U_2, U_3)$ の高さからプロットする。振動子 2 の振動の横振幅が動作面 5 の粗さより小さい場合、この関数は、本質的に、電圧 U_0 において小さい不連続を有する直線である。図 16 の位置 45 において、本発明のモーターの機械的特性値がプロットされており、モーターが機械的共振周波数 f_0 において動作するとき、回転周波数 n の依存性が、負荷モーメント M からプロットされる。この関数は、負荷モーメント M_e まで直線である。前記モーメントにおいて、摩擦接触は破断する。 $M_e \sim M_{max}$ の負荷範囲において、モ

10

20

30

40

50

ーターは不連続に動作する。破線は、負荷モーメントの可能な最大値 M'_{max} を示している。この値は、ステーター 1 とローターとの摩擦結合の材料の理想的選択において達成可能である。図 16 の位置 46 は、モーターの品質図、すなわち、モーターが機械的共振周波数 f_0 において動作するときの負荷モーメント M からの効率係数 η の依存性を表している。この関数は、放物曲線を負荷値 M_0 まで追従している。最大値 M'_{max} は、可能な最大負荷モーメントの半分 $1/2 M'_{max}$ の近くにある。最大効率係数の大きさ η_{max} は、振動子の損失抵抗 R'_M と摩擦接触部の損失抵抗 R'_F との関係により決まる。物理的に見ると、摩擦接触部の損失抵抗 R'_F は、常に振動子の損失抵抗 R'_M より大きい。従って、本発明のモーターは、30% ~ 70% の範囲にある十分に大きい効率を有する。

図 17 は、全体がピエゾセラミックで製作された本発明のモーターのモノリシックな振動子 2 の変形 47 ~ 54 を示す。前記振動子は、発生器 4 内に発生した進行波の導波管である。示された変形のそれぞれは、物理的構造と必要なモーター変数に依存して使用することができる。従って、例えば、高さがその直径より大きいか、または、等しい長方形円柱として具現化された振動子 2 (位置 47) は、進行波発生器 4 を有する最小寸法の圧電モーターの構成 (図 1) を可能にする。短く広い円柱として具現化された振動子 2 (位置 48) は、最大機械的出力が必要とされるとき使用される。この場合、振動子 2 の直径は希望通りに拡大することが出来、進行波発生器 4 の数、従って、ローター 6 と接触する進行波の数は増加される。円柱としても見なされる円盤形の振動子 (位置 49) は、最小高さの平坦なモーターとして使用される。最小断面と中心開口の圧電モーターが必要とされる場合、環状振動子が使用される (位置 50)。円錐断面の振動子 (位置 51, 52) を使用することにより、振動速度の増大が可能である。このような振動子は、振動速度をその断面の狭い範囲において増加する機械的引張りの集中器と似た働きをする。倍増集中器を使用することにより、振動速度、従って、ローターの回転周波数の 1.5 倍 ~ 2 倍の増加が可能である。位置 53, 54 は、円錐状動作面 5 を有する振動子を示している。このような振動子は、ボールベアリングの中心配置することなく圧電モーターの構造を可能にする。これはモーターのコストをかなり低減する。振動子 2 の円錐状動作面 5 は大きいので、モーターの機械的出力はそれに関連して増大する。本発明の圧電モーターは、ローター 6 への振動子 2 の摩擦接触に基づいており、すなわち、そのほかの面に作用する面は、摩擦磨耗を受ける。前記面の磨耗の程度は、モーターの平均呼称時間間隔を決定し、従って、これは、振動子 2 の動作面 5 とローター 6 の面とで構成される摩擦結合に使用される材料の耐摩耗性に依存する。ローター材の選択は、特別な問題ではない。それは、両方とも、アルミナをベースとしたセラミック、酸化ジルコニウム、炭化チタン、炭化タングステン、熱処理合金鋼などの非常に硬い材料から、および、硬い充填材を含んでいる熱反応樹脂材をベースとした軟質の合成摩擦材から選択することが出来る。振動子材の選択は、振動子がピエゾエ活性材から製造されなければならないので、非常に難しい。限定された数のピエゾ活性材だけが直接に使用できる。このようなものは、石英、幾つかの結晶子、チタン酸バリウムである。石英は、その使用を制約する非常に小さいピエゾモジュールを有する。チタン酸バリウムは、広い温度範囲においてその使用に対抗する低いキュリー点を有する。ピエゾセラミックを広範囲で使用可能にする課題は、振動子 2 の動作面 5 が、振動子 2 の摩擦磨耗に耐え、同時に、動作面 5 の摩擦係数を決定する薄い耐摩耗層を備えていることで解決された。摩擦層 5 の材料は、次の条件を満足しなければならない：それは、摩擦作用の振動子-ローター-モーターによる摩擦磨耗に耐えなければならない；それは、例えば、安定したピエゾセラミックの化合物を形成しなければならない。さらに、それは、強い超音波域に耐えなければならない。

図 18 (位置 55, 56, 57, 58, 59) において、本発明の圧電モーター耐摩耗層 60 の多数の変形が示されている。位置 55 によれば、耐摩耗層は、0.1 ~ 0.3 mm の薄い酸化セラミックで製作されたリング 61 (アルミナまたはほかの材料をベースとした) であり、これは、酸化セラミックおよびピエゾセラミック、例えば、ガラスとの化合物を形成する材料により、圧電振動子へ接合される。このようなガラスは、十分な量の酸化鉛を含有していなければならない。位置 56 において、耐摩耗層 60 の変形が示されて

おり、この場合、これは、振動子 2 の動作面 5 へ加えられた硬化処理の耐摩耗ガラスの薄い層である。ガラスは、分極される前に振動子 2 へ加えられる。冷却時の分裂を避けるために、ガラスの温度膨張係数が、ピエゾセラミックと 5 % より大きく差がないように、ガラスは、膨張係数を選択されなければならない。このような層は、低出力のモーターに使用される。

純粋なガラスの摩擦層を使用することは、摩擦係数が非常に低いので不利である。摩擦係数を高めるために、摩耗材で製作された粉末 6 2 でガラスを処理することは (図 1 8、位置 5 7)、可能である。アルミナ、炭化チタン、窒化チタンなどの粉末は、摩耗充填材として使用される。このような実施態様により、超音波を感知しない摩擦層 6 0 の進行波抵抗を精密に選択することが出来る。すなわち、化合物の信頼性は高まり、従って、モーターの出力が増大する。

ピエゾセラミックステップ出力モーターの特に安定した摩擦層は、振動子 2 のピエゾセラミックの化合物を生成する材料で充填された多孔性酸化セラミックから製作することが出来る。この摩擦層 6 0 は、図 1 8 の位置 5 8 に示されている。多孔性アルミナセラミックは、それに最もよく適しており、その孔は、振動子 2 のピエゾセラミックの化合物を形成する容易に溶解するガラス材で充填される。

図 1 8 の位置 5 9 において、摩擦層 6 0 の変形が、基層 6 3 と中間層 6 4 とから構成された二重層構造として示されている。この実施態様において、基層は動作面 5 の摩擦特性を決定し、中間層はピエゾセラミックと振動子 2 との間の安定した接合を形成する。振動子 2 の電極 1 5、1 6 の構造を同時に形成する金属層として、中間層 6 4 を加えることは、技術的に適切である。このような被膜を、ニッケルを化学的に沈殿するか、ニッケル、チタン、またはすべてのほかの材料をイオン注入法によってスパッタリングすることにより生成することは可能である。クロームまたはすべての安定材の基層 6 3 は、化学的方法または電気化学法により摩擦接触の範囲において、中間層 6 4 へ付加することが出来る。本発明は、摩擦層 6 0 を形成するすべての適切な方法を使用することができる。本発明の圧電モーターの振動子 2 の各実施態様は、その全容積を実質的に占有している多数の進行波発生器 4 から成っている。前記発生器は、振動子の導波管 3 の表面上の電極 1 5、1 6 の構造を決定する。図 1 9 は、位置 6 5 から 6 9 により、電極 1 5、1 6 の最も重要な実施態様を示している。位置 6 5 において、振動子 2 は、発生器 4 と三つのグループの電極 1 5、1 6 とから成って示されている。各グループの電極のそれぞれは、定常波発生器 9、1 0、1 1 を構成している (図 1)。位置 6 6 は、振動子を短い円柱として示している。前記振動子は、四つの進行波発生器 4 を有する。前記振動子の全電極 1 5 は、外へ指向した共通電極を構成している。単一の電極 1 6 は、振動子の内面に形成されている。位置 6 7 において、振動子 2 は、平面上に配列された電極 1 5、1 6 により環状形である。位置 6 8 は、帯状電極 1 5、1 6 が外面に配列されている振動子 2 の実施態様を示す。この振動子 2 は、縦方向へ分極化された導波管 3 の面を有し、振動子が高電圧により励起される場合に使用される。この実施態様において、振動子 2 は、その内面に電極を有していない。前記振動子の全電極 1 6 は、並列に接続され、定常波発生器 9、1 0、1 1 の共通電極を構成している。従って、電極 1 5 のそれぞれは、各発生器 9、1 0、1 1 へ整合されている。

図 1 9 の位置 6 9 は、展開された振動子 2 を、電極間の全接続が回線 7 0 として具現化されている電極 1 5、1 6 の変形で示している。このような構成を光化学的に製作することが可能である。本発明は、各定常波発生器 9、1 0、1 1 の電極の特別な形態を提供する (図 2 0、位置 7 1)。この実施態様において、電極 1 5、1 6 は、振動子 2 の高さ h の約半分に等しい高さ c を有する。この場合、弾性波 7 0 0 は、縦波 5 0 0 と同時に発生する。縦波と弾性波との振幅比は、電極 1 5、1 6 の高さを変化することにより、変えることが出来る。弾性波の長さは、振動子の高さ h に依存する。電極 1 5、1 6 の高さ c と振動子 2 の高さ h を変えることにより、図 2 0 の波の図に示されているように、弾性波の振幅と長さが縦波の振幅と長さに等しくなるように、これらの値を調節することができる。両方の波が振動子 2 に同時に発生すると、それらにより生成した変形が重畳する。図 2 0

10

20

30

40

50

の下部に、振動子 2 の全変形が示されている。動作面 5 の重畳された波の振幅が、縦波の振幅の 2 倍に等しく、縦の変形と弾性の変形が、誘導面 7 において相互に補償され、すなわち、前記主導面 7 は変形されず、波が発生しないことが、見られる。

図 2 1, 位置 7 1 に示された発生器に類似した三つの発生器 (図 2 1, 位置 7 2) により、三つの定常波を振動子 2 に発生すると、非対称進行波が、図 2 1 に示されているように発生する。前記進行波は動作面 5 を変形し、主導面 7 は変形しない。圧電モーターのこの実施態様において、振動子 2 のエネルギーは、遮音基盤 8 により吸収されない。従って、このようなモーターは、潜在的により高い効率を有する。

本発明は、定常波発生器 9, 10, 11 を励起源 17, 18, 19 により制御する各種の変形を提供する。図 2 3, 位置 7 3, 7 4, 7 5 は、励起源 17, 18, 19 を発生器 9, 10, 11 へ接続する一般的励起原理を表す回路を示している。

位置 7 3 の回路は、励起源 17, 18, 19 による発生器 9, 10, 11 の個々の励起を例証している。この回路が、励起源 17, 18, 19 のすべての接触部 2 1 が共通集約回線 7 6 に相互接続されている位置 7 4 の回路に置き換えられ、発生器 9, 10, 11 の全電極が、共通電極 7 7 に置き換えられることは明らかである。集約回線 7 6 と共通電極 7 7 は、接続回線 7 8 により相互に接続されている。このような変形は一般的励起原理を変えないが、回路の単純化を意味する。その上、励起源 17, 18, 19 は振幅および周波数が等しいので、 $2/3$ (120°) だけ位相がずれた、等しい電位を相互に供給することが可能であり、発生器 9, 10, 11 の電気抵抗が相互に等しいので、電流が接続回線 7 8 を流れず、その回線は、位置 7 5 によれば省略することが出来る。これには、共通電極 7 7 が電氣的接続部を必要としていないことが含まれる。

本発明の一層の単純化が、図 2 3 によれば可能であり、この図には、振動子発生器 4 を有する振動子 2 が見られる。再び、三つの定常波発生器 9, 10, 11 が示されており、9 は基本発生器であり、10, 11 は定常波発生ブースターである。発生器 11 だけは発生器 9, 10 と接続して送られた電圧であり、発生器 9, 10 は電圧源 17, 18 へ直接に接続されている。従って、発生器 11 は、領域 s に沿って分割された二つの領域 m, n の間に配列された発生器 9, 10 の共通部分として見なすことができ、この場合、領域 m と s の間の部分は発生器 9 に属し、領域 s と n との間の部分は発生器 10 に属する。

発生器 9, 10, 11 の電極 15, 16 は、励起または電圧の源 17, 18 へ接続しており、その後者は、それらに電圧 U_1, U_2 を供給する。図 2 4 に示された等価回路において、 X_1, X_2, X_3 は、発生器 9, 10 の部分のそれぞれのインピーダンスである。発生器の部分 9, 10 が、相互に等しい場合、インピーダンス X_1, X_2, X_3 は等しい。本発明により、電圧 U_1, U_2, U_3 は $\pm 120^\circ$ または、ほぼその値でなければならない。この実施態様において、振動子 2 へ供給された電圧 U_1, U_2 は、分配器 X_1, X_2, X_3 により分圧され、発生した部分は、 X_3 に総和される。電圧 U_1', U_2', U_3' は、振動子 2 の各部分に発生する。 $X_1 = X_2 = X_3$ ならば、 $U_1' = U_2'$ である。電圧 U_3' は、 U_1 と U_2 により僅かに大きい。電圧 U_1 と U_2 との間の位相ずれ角は、約 120° である。電圧 U_1', U_2' のそれぞれと U_3' との間の位相角は、約 $120^\circ/2$ である。発生器 9, 10 の共通部分 11 は、それらを通る電流により考えると、個々の部分と反対に接続されているので、その励起電圧の位相は、 180° だけ回転する。すなわち、第二ブースター 11 を励起する電圧 U_3' の位相は、 $120^\circ/2$ であり、従って、この特殊なケースにおいて、 120° ならば、 $180^\circ - 120^\circ/2 = 120^\circ$ である。

このように、本発明の実施態様において、第三の定常波が、二つの定常波発生器 9, 10 の共通部分 11 により励起される。前記共通部分は電圧 U_1 と U_2 の部分を重ねることにより形成された電圧により励起される。これは、この実施態様には励起源 19 がない理由であり、これは大きな単純化を意味する。本発明が、実行するために変形されると、発生器 9, 10, 11 の個々の励起のために、簡単な同期された動作と励起源 17, 18, 19 の同相動作を確実にすることが困難である。従って、本発明の図 2 5 の実施態様は、本発明の特徴を変えない自己励起を提供している。発生器 9, 10, 11 の励起の場合、基本発生器 9 の励起源 17 は、搬送励起信号源を表しており、実際には、励起源 18, 19 は

10

20

30

40

50

、位相を回転し、前記信号を強化するために使用される。この場合、励起源 17 は、電気搬送信号発生器 79 と電力増幅器 80 とから成り、励起源 18, 19 は、位相ずれ手段 81, 82 とバッファ増幅器 83, 84 とから成っている。さらに、励起源 18, 19 は、位相角の極性反転手段 85, 86 を有することが出来る。前記実施態様は次のように動作する。搬送信号発生器 79 は、電気信号を発生し、その周波数は、振動子 2 の機械的共振周波数 f_0 に等しい。この信号は、増幅器 80 と励起源 18, 19 の位相ずれ手段 81, 82 とへ送られる。位相ずれ手段は、信号の位相を $\pm 2/3$ (120°) だけ回転する。位相ずれ手段 81, 82 から、各励起源 18, 19 の信号が、位相角の極性反転手段 85, 86 へ送られる。その後、信号は、増幅器 83, 84 において増幅される。増幅器 80, 83, 84 において増幅された三つの信号は、励起源 17, 18, 19 の励起電圧として各定常波発生器 9, 10, 11 へ送られる。

10

本発明の圧電モーターの図 16 による周波数図は、連続である。すなわち、不安定な点はない。従って、制御発生器 79 の周波数は、周波数曲線のすべての範囲に存在する。必要ならば、励起周波数を変えることにより、ローター 6 の回転周波数を変えることが出来る。装置 85, 86 により、励起源 18, 19 からの信号の位相を各反対の方向へ反転することによって（励起源 17 からの信号の位相位置にたいし $\pm 120^\circ$ だけ）、ローターの回転方向を反転することが出来る。

図 26 において、本発明のモーターの実施態様が示されており、これは、周波数制御の自動発生器として動作する制御発生器 79 から成っている。前記実施態様において、ローター 6 の回転周波数は、制御電圧 U_R を変えることにより、すなわち、制御発生器 79 の励起電圧を変えることにより、変化することが出来る。本発明の多くの適用において、モーターの動作周波数が、可能な変動作用により、振動子の機械的共振周波数 f_0 にほぼ等しいことは、非常に適している。このような変形は、図 27 に示されている。前記変形により、本発明のモーターは、そのほかに、入力 88、フィルター 89、位相ずれ連鎖 90 および増幅器 91 から成る正のフィードバック分岐 87 を有する。さらに、前記変形は、基本発生器 9 へ直列に接続されたインピーダンス 92、この場合、増幅器 80 だけを有する励起源 17 から成っている。フィードバック分岐 87 の入力 88 は、回線 880 を経て基本発生器 9 に収められたインピーダンス 92 の電極 15, 16 へ接続されている。破線により、インピーダンス 92 への第二の可能な接続 881 が、図 27 に示されている。フィードバック分岐 87 の出力が、励起源 17 のバッファ増幅器 80 へ接続している。インピーダンス 92 は、抵抗 R 、インダクター L 、または、コンデンサー C である。その構成要素において、考察される変形は、振動子 2 の機械的共振周波数 f_0 で励起される電気機械的自動発生器である。自動発生器は、基本発生器 9、その励起源 17 およびほかのフィードバック分岐 87 により実行するために変形され、閉じた電気機械的連鎖を構成している。振動子 2 の機械的共振周波数 f_0 で前記連鎖を励起するために、本発明のモーターの図 16 の位相図 43 が使用され、周波数 f_0 の近くにゼロ通過を有する。

20

30

上述の電気機械的連鎖は、周波数 f_0 における増幅率が単位体より大きく、位相ずれが、連鎖の各不連続の前記周波数における入力信号と出力信号との間にゼロがあるように、微調整され、増幅率は増幅器 80, 83, 84 により事前に選択され、位相ずれは、位相ずれ連鎖 90 により事前選択される。信号の位相ずれの大きさは、インピーダンス 92 の選択された成分によって決まる。抵抗を使用する場合、位相ずれは、僅かに修正して、 $\pm 10^\circ$ の範囲内になければならない。コンデンサー C を挿入する場合、位相ずれは、 $+90^\circ$ の範囲にあり、インダクタンスを使用する場合、それは -90° にある。

40

図 28 は、フィードバック分岐 87 の入力回路の電流変換器 93 から成る実施態様を示している。前記実施態様は、電極 77 が省略される場合の電気機械的自動発生器の回路を簡素化している。その構成要素において、前に考察されているように、その構成は、図 27 の構成と似ている。

振動子の機械的共振周波数 f_0 に対する励起電圧 U_1 (U_2, U_3) の精密な微調整を必要とする少数の適用において、ほかのフィードバック電極 95 を有する変形は可能である（図 29、位置 94）。前記電極は、基本発生器 9 の定常波の機械的応力の最大値の位置に配

50

置される。電極 95 の二つの動作モードは、可能である：無負荷動作と短絡動作。無負荷動作において、電極 95 は電氣的負荷の抵抗ではない。発生器 17 が励起されると、基本発生器 9 の定常波の機械的応力に比例する電圧が、電極 95 上の直接の圧電効果により発生する。電極 95 と電極 77 の短絡動作の場合に、短絡電流が流れる。前記電流は、基本発生器 9 の定常波の機械的応力に比例する。無負荷電圧 U_S と無負荷電流 I_S の周波数図と位相図が、位置 96, 97, 98 によれば、電気機械的自動発生器と接続されたフィードバック電極 95 について使用される。

図 30 は、電気機械的自動発生器と接続されたフィードバック電極 95 の実施態様を示す。電極 95 の機能は、抵抗体 99 により事前に決定される。この構成は、図 27 と類似しており、フィードバックの増幅率と位相ずれとにより微調整される。本発明は、また、最小始動-停止時間のステップ動作の圧電モーターの適用を提供する。このために、図 31 により、制御入力 100 を有するスイッチが、電気回路をオン-オフ切り換えるフィードバック分岐 87 に配置されている。オフに切り換えると、スイッチ 100 は、フィードバックの電気信号回路を短時間開くか、または閉じる。いずれの場合でも、モーターの電気機械的自動発生器の制御は、最小停止時間に中断される。フィードバック分岐 87 をスイッチ 100 によりオンに切り換えると、自動発生器は急速に始動する。スイッチ制御、従って、ステップ動作の制御は、選択時間の正の制御電圧 U_1 により行われる。

以降に、本発明の圧電モーターの機械的と電氣的設計の多数の実施態様が説明されている。図 32 と 33 が、縦軸 $X-X$ に沿って伸張した振動子 2 と、一つ（または二つ）の進行波発生器を有する本発明の圧電モーターの実施態様を示している。圧電モーター 200 は、ステーター 1 と縦進行波の導波管 3 を同時に構成している関連した振動子 2 とから成っている。振動子 2 は、取り付け基盤 102 上に自由に動くように配置されている。取り付け基盤 102 が金属で製作されているならば、絶縁基材 103 が、電極 16 (77) とモーターのステーター 1 との間の短絡を除去するために、前者と振動子 2 との間に配置されていなければならない。振動子 2 は、非機能の主導面 1 を介して遮音支持台 8 に突き当たっている。弾性スリーブ 105 を介してモーター軸 106 へ接続されたローター 6 は、スプリング 104 により振動子 2 の動作面 5 へ押しつけられる。軸 106 は、縦方向へ自由に動くことができるように、従って、スプリング 104 により加えられた接触圧力をローター 6 へ伝達することができるように、ボールベアリング 107 上に置かれている。

進行波が振動子に発生すると、振動子 2 の動作面 5 は、回転モーメントをローター 6 へ伝達し、後者に回転を起こさせる。回転は、弾性スリーブ 105 を介してモーター軸 106 へ伝達される。機械的負荷が軸 106 へ加えられると、振動子 2 は、軸 106 とローター 6 とに働いている回転モーメントに対抗して回転モーメントを発生する。振動子 2 は、その主導面 7 を介して遮音支持台 8 に突き当たっているため、振動子 2 の回転は、支持台 8 と主導面 7 との間の摩擦モーメントにより除去される。前記摩擦モーメントは、摩擦接触しているモーターの回転モーメントより常に大きいので、振動子 2 は停止位置に残る。この実施態様は、敏速な組立を可能にする単純な構造である。それは微少な幾何学形の製作を可能にする。ほんの 2 ~ 3 mm の外径が可能であるので、それは従来の電気モーターに対する手強い競合相手である。

図 34 は、十分に大きい直径 (120 mm 以上) と十分に大きい動作面 5 (環状面の幅 15 ~ 20 mm) 環状振動子 2 から成る本発明のモーターを示す。振動子 2 は、10 個の進行波発生器 4 より大きい空間を備えている。このようにして、高いモーター出力が確実に得られる。従って、この実施態様は、動作中に振動子に発生した熱を放散するために、取り付け基盤 102 とローター 6 との適切な熱伝導を必要とする。このために、好適に、アルミニウムとその合金が使用されている。この実施態様において、モーターのローター 6 は、ローター 6 の摩擦特性を決定する薄い摩擦層 600 で被覆されている。

図 35 と 36 は、圧電出力モーター 200 を示す。前記モーターは、二つの部分 108, 109 で構成されたローターから成っている。部分 108 は軸 106 へ固定されている。部分 109 は軸 106 に沿って移動可能である。両方のローター部分は、弾性支持体 111 により円柱状振動子 2 の二つの円錐状動作面 110 へ押しつけられており、支持体 11

10

20

30

40

50

1は、ナット112により部分109と円板113の間に押しつけられている。この弾性支持体の材料は、ポリエチレンなどの弾性有機物から選択される。前記モーターの振動子2は、揺動ボルトを備えたブラケットにより表されているハウジング114に装着されている。モーターには、軸受けがない。ローター108, 109は、振動子2の円錐状動作面110により心が合わされている。この構造は、圧電モーターの最大出力を可能にする。この出力は、圧電振動子2の動的強度により制約されているだけである。

本発明は、金属導波管が使用されているさらに強力な圧電モーターの構造を可能にする。このようなモーター200の可能な変形が、図37と38に示されている。それは、ステーター1と連結した金属導波管3を有する振動子2とから成っている。導波管3は、導波管の最大機械的応力を可能にする安定した熱処理鋼で製作されている。これらは、圧電セラミックについてよりも、鋼についてかなり大きい。このようなモーターは、導波管の単位体積当たりの最大出力を可能にする。この設計において、定常波発生器は、ボルト117により圧縮された圧電変換器のパケット116の形状に製作されている。これらは、軸106と導波管3の回りに同軸に配置されており、フランジ118により後者へ接続されている。

このモーターは次のように動作する：定常波発生器9, 10, 11を構成している圧電変換器パケットの各グループは、導波管3内に定常波26, 27, 28(図7)を発生する。前記定常波の重畳は、ローター6を回転する進行波29を発生する。圧電変換器パケットから成る圧電モーターのこのような構造は、導波管の直径に従ってパケット数を増加することにより、モーターの機械的出力を無制限に増加することができる。直径30mmの各パケットは、約100ワットの最大変換器出力を有する。振動子に30個のパケットと圧電モーターの30%~40%の効率とを有する場合、約100ワットの機械的出力が、軸106に得られる。

実施する変形の要件に従って、本発明は、圧電モーターの多数の変形を可能にする。図39は、特殊な光学装置に使用するのに適したモーターの変形を示す。モーターは広い中心開口231を有する。ローター6は、前述と同様に、磁気ハウジング120により引きつけられる環状磁石119によって振動子2へ押しつけられる。

本発明は、振動子2の励起源9, 10, 11の多くの実施態様を提供しており、持つとも重要な構成要素を有するそれらの四つは、これから以降に説明される。

図40は、周波数制御原理によりローターの回転速度を制御する本発明のモーターの電気回路の説明図を示す。この回路は、図25と26の構成図に相当する。この回路は基本発生器9の励起源17を含み、制御発生器79と実施態様発生器80とを有する。制御発生器79は、ウィーン・ブリッジにより自動発生器の原理に従って設定される。そのキャパシタンスを変化するコンデンサ122に作用する制御電圧 U_R により制御発生器79の周波数を変えることは可能である。図16, 位置41に示された周波数曲線の範囲において制御発生器79の周波数をその変化で変えるように、コンデンサ122のキャパシタンスが選択される。この実施態様において、励起源18, 19は、プースター10, 11、位相ずれ手段81, 82、位相角の極性反転手段85, 86、および出力増幅器83, 84から成っている。位相ずれ手段81, 82は、信号の位相を $+2/3$ ($+120^\circ$)と $-2/3$ (-120°)だけそれぞれ回転する動作増幅器を有する活性位相ずれ分岐123, 124から構成している。手段85, 86は、切り換えスイッチ125, 126を接地へ接続し、後者は位相ずれ手段81, 82の機能の変化を行い、すなわち、位相ずれの符号を反転する。このような反転は、ローター6の回転方向を反転する。増幅器80, 83, 84は、同じもので、広い伝達帯域を有するバッファ増幅器(出力増幅器)として動作し、スイッチングモードでほとんど動作する。考察された前記装置は、どちらも、振動子の機械的共振周波数 f_0 の左右で確実に動作する。

図41において、図27(自動発生器)の構成図による基本回路図が示されている。この回路において、フィードバック分岐87の入力88は、抵抗体 R_1 として具現化されたインピーダンス92へ接続している。この抵抗体 R_1 へかかる電圧は、基本発生器9を流れる電流に比例する。周波数 f_0 における前記電圧の位相ずれは、発生器9にかかる電圧似

10

20

30

40

50

関して、実際にはゼロである。抵抗体 R_f から、前記電流に比例する電圧は、帯域フィルター (L_f, C_f) に、従って、増幅器 91 に印加される。周波数 f_0 へ調整された帯域フィルター 89 は、フィードバック分岐 86 のフィルター域を限定し、従って、振動子 2 の固有周波数の範囲における回路の自己励起を除去する。増幅器 91 において増幅された電圧は、フィードバック分岐 87 の出力へ送られ、そこから、基本発生器 9 の励起源の出力増幅器 80 へ送られる。閉じた回路において、全位相ずれは、周波数 f_0 においてゼロであるので、この周波数における増幅率はより大きい単位であり、フィードバック分岐 87 を有する励起源 17 は、周波数 f_0 において振動し始め、従って、不安定な影響に関係なく前記周波数を維持する自動発生器として動作する。位相ずれ手段 81, 82 は、二つの相互に反転可能な位相連鎖 127, 128 を有する位相ずれ分岐 123, 124 から成っている。この反転は、位相ずれの符号の反転を実際に起こす切り換えスイッチ 129, 130 により行われる。このような反転は、ローター 6 の回転方向を反転する。出力増幅器 80, 83, 84 は、分離しているフィルター L_f, C_f を介して発生器 9, 10, 11 へ接続している。このようにして、増幅器をスイッチングモードで動作することが可能であり、その出力電圧は急勾配を有する。

図 42 は、分離しているフィルター L_f, C_f のコンデンサ C_f がインピーダンス 92 として使用されている実施態様を示している。このコンデンサーにかかる電圧の振幅は、発生器 9 を通る電流に比例する。しかし、その位相は、発生器の電流に対し -90° だけずれている。このような位相ずれは、さらに -90° のずれを必要とする。このずれは、帯域フィルター 89 のコンデンサー回路 C_f において行われ、この場合、電圧は、コンデンサー電流に対し抵抗体 R_f において -90° だけずれる。従って、全位相ずれは、 -180° である。増幅器 91 は、再び、全位相ずれがゼロであるように、この位相を -180° だけずらす。その実施態様では、ローター 6 の回転方向を反転することが出来ないため、手段 85, 86 は、除かれる。図 40, 41, 42 に示された本発明のモーター 200 の動作構成要素の実施態様において、バイポーラまたは電界効果形トランジスタ (示されていない) を有する半ブリッジ回路が、電圧制御器として動作するバッファ増幅器 80, 83, 84 として使用されている。この回路は、供給電圧の半分に等しい電圧振幅を発生器 9, 10, 11 に生成する。さらに高い電圧が必要であるならば、電流切り換えから成る回路が、使用される。この回路は、出力増幅器により送られた電圧により 2 ~ 3 倍高い電圧を発生器に発生する。

図 43 は、電流スイッチを有する本発明のモーターの実施態様を示す。前記実施態様は、電圧 E が供給され、コレクター回路に誘導率 L_c により設定された電流源を有するバイポーラトランジスタとして具現化された三つの電流反転回路 131 から成っている。発生器 9, 10, 11 における電圧の振幅は、約 $(2 \sim 3) \cdot E$ である。この実施態様において、フィードバック分岐 87 は、フィードバック電極 95 へ接続しており、これは、周波数は f_0 において、発生器 9 にかかる電圧と前記電極 95 にかかる電圧との間に位相ずれ $+90^\circ$ を発生する (図 29, 位置 97)。帯域フィルター 89 の位相ずれ連鎖 90 は、全位相ずれが $+180^\circ$ であるように、位相を $+90^\circ$ だけ再度回転する。反対方向 -180° の位相回転は、増幅器 91 により行われる。この変形は、図 31 の構成図により設定された、短い始動一停止時間を有するステップモードで動作する圧電モーターを示している。ステップ動作を行うため、この回路は、入力 101 プラス電圧により制御されたトランジスタスイッチ 100 を有する。スイッチ 100 が閉じると、フィードバックは分裂して、電気機械的発生器の振動の急速停止を起こす。スイッチ 100 が開くと、自動発生器が急速に始動する。

図 44 は、発生器 9, 10 を励起する電圧 U_1, U_2 の部分が総和される、本発明のモーターの電気回路を示す。この回路は、切り換えスイッチ 130 を起動すると、励起源 17, 18 と発生器 9, 10 が、動作が交換される。これは、簡単に、モーターの回転方向の反転を行う。そのほかの構成要素に関しては、これまでに使用された参照数字は有効である。本発明のモーターのすべての可能な実施態様において、圧電セラミックは、振動子の最大取得可能な容積を占有している。従って、このようなモーターは、最大電気機械的効

10

20

30

40

50

率の高い効果的振動子で優れている。それらは、低い励起電圧を必要とするだけで、高い負荷を可能にし、それらはまた、振動子が強い機械的応力を受けるとき働く。このモーターのモノリシックな振動子は、最大機械的応力を可能にする高い安定制御を有し、従って、モーター軸の最大機械的出力を確実にする最大振動速度を有する。

このようにして、モーターは、例えば、 10 W/cm^2 の振動子の動作面上の特定の接線方向の負荷において、および、 1 m/s の動作面の振動速度において、動作面の特定の機械的出力を送り出す。即ち、モーターの達成可能な最大機械的出力は、振動子の直径 100 mm で、動作面の幅 15 mm において 450 W である。

振動子の高い機械的安定性は、モーターの高い信頼性と重寿命とを確実にし、これは、強固な構成要素の信頼性に近づく。この単純な設計は、前記モーターを従来の電気モーター

10

に競合させる正味のコストを低減する。
本明細書に、後に続く請求の範囲に、および図面に開示されたすべての特徴は、本発明とすべての希望の組み合わせにおいて本質的なものである。

【 図 1 】

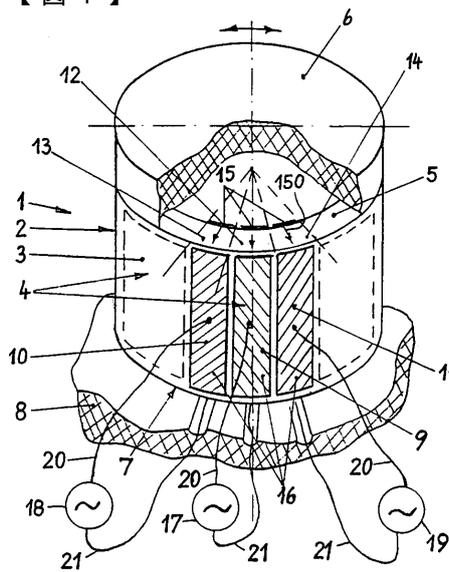


Fig.1

【 図 2 】

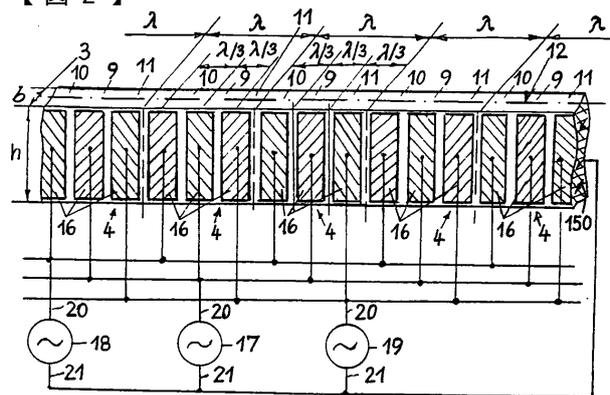


Fig.2

【 図 3 】

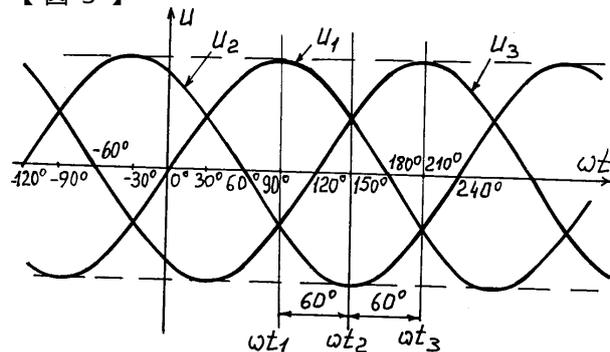


Fig.3

【 図 4 】

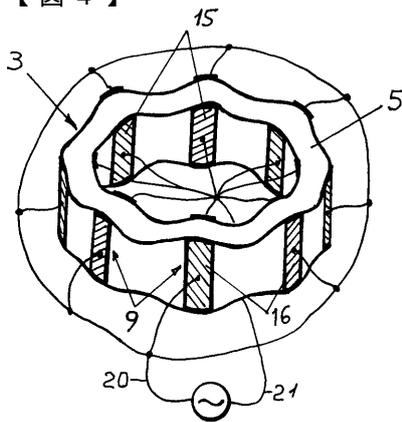


Fig.4

【 図 6 】

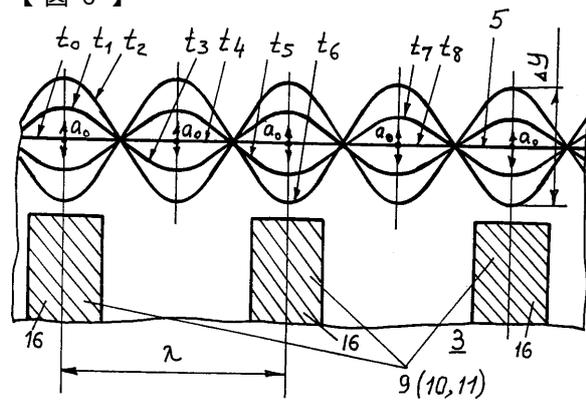


Fig.6

【 図 5 】

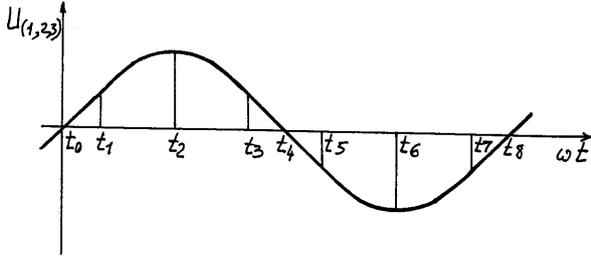


Fig.5

【 図 7 】

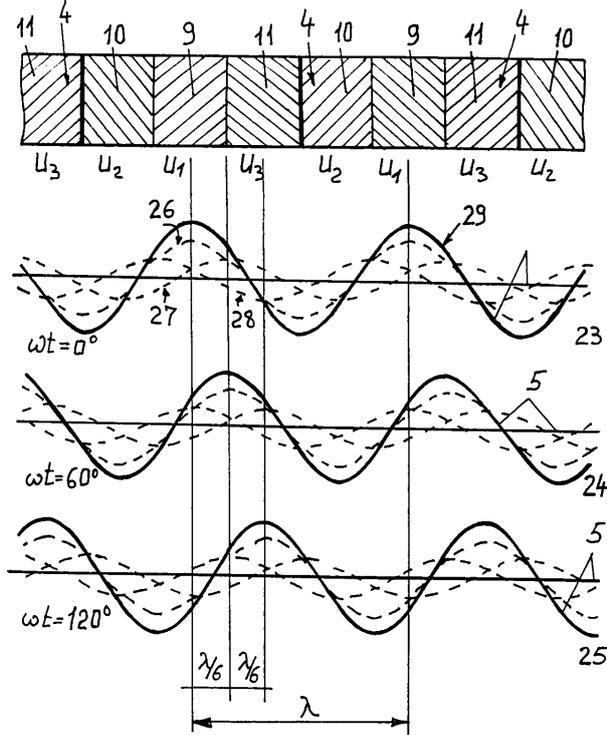


Fig.7

【 図 8 】

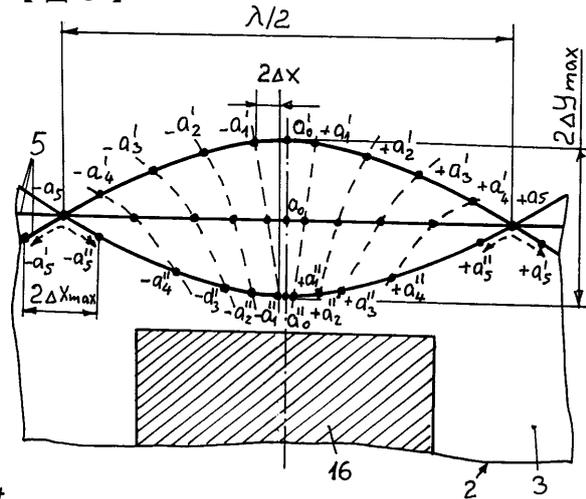
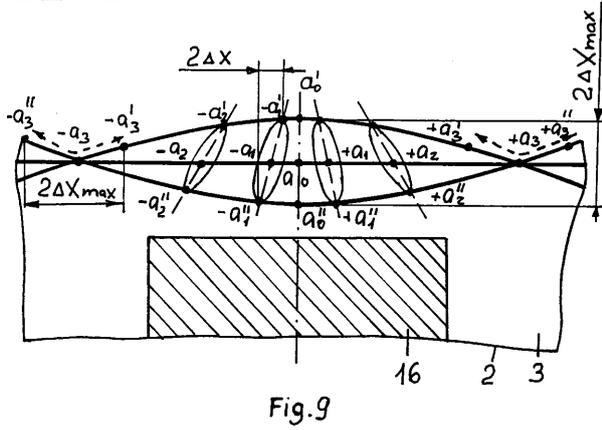
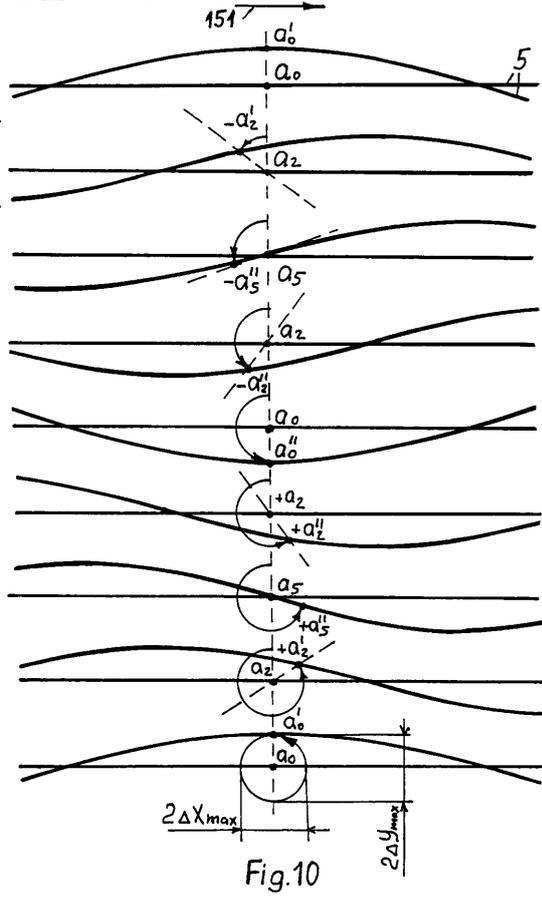


Fig.8

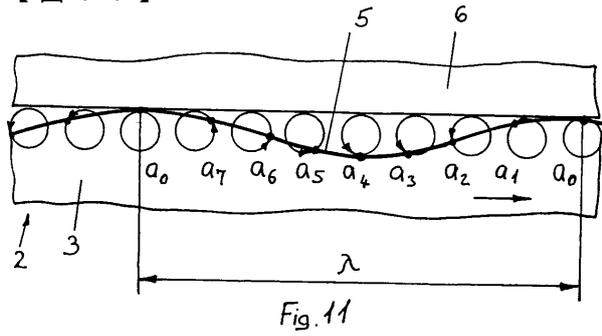
【 図 9 】



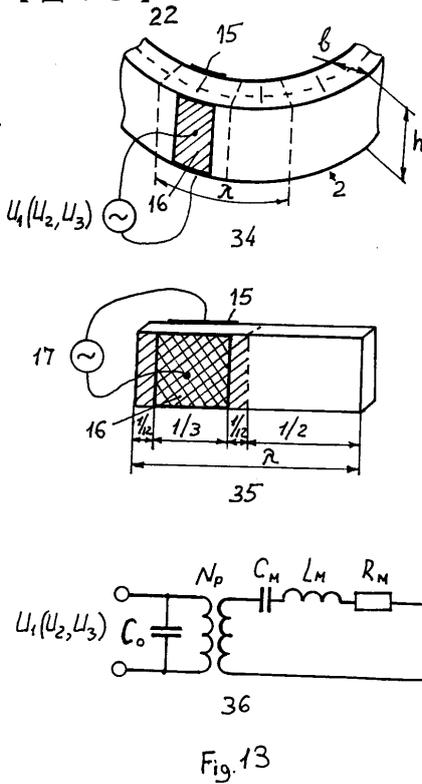
【 図 10 】



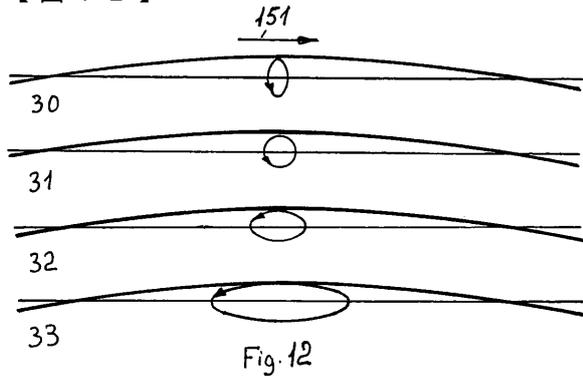
【 図 11 】



【 図 13 】



【 図 12 】



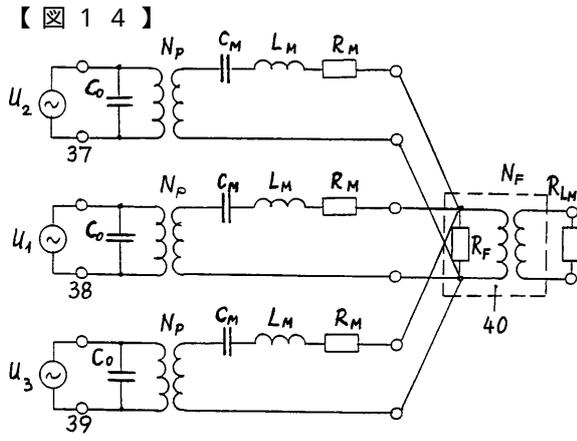


Fig. 14

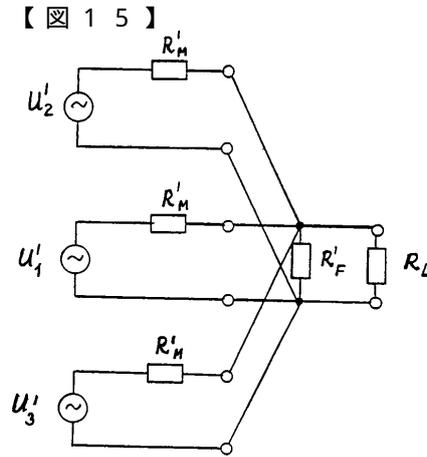


Fig. 15

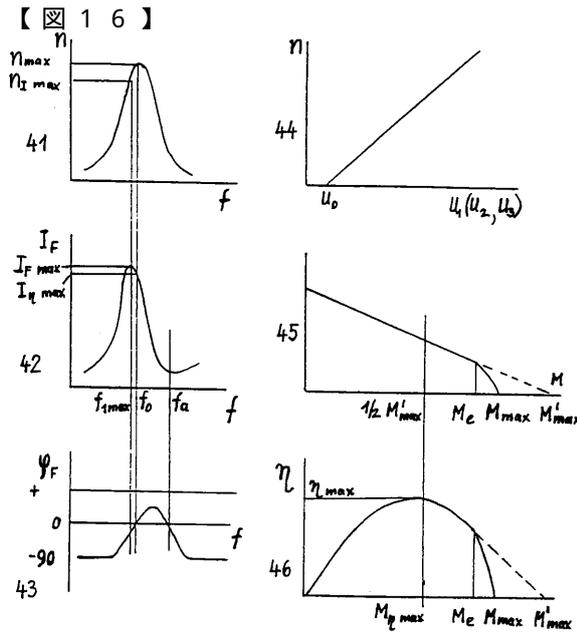


Fig. 16

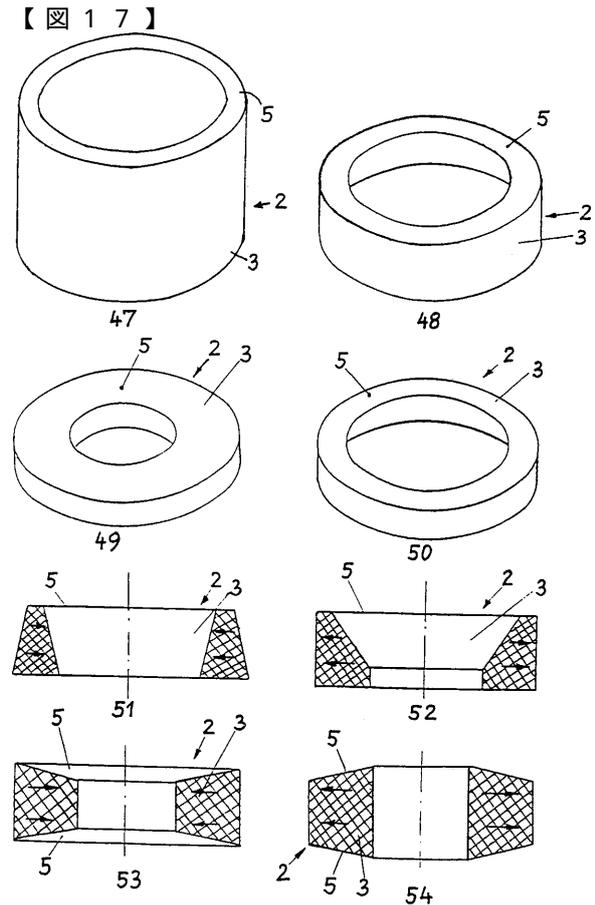
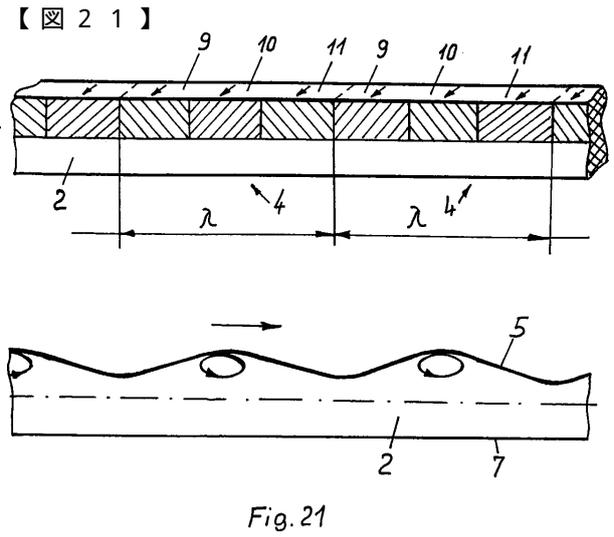
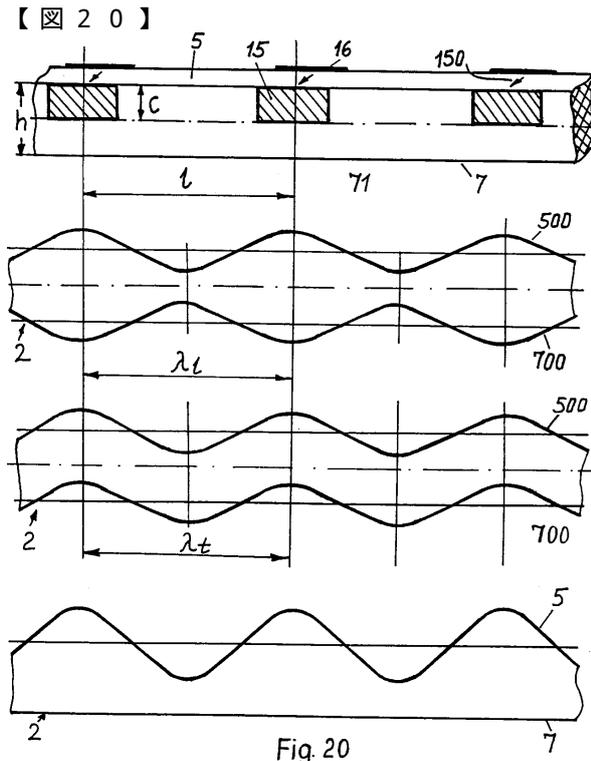
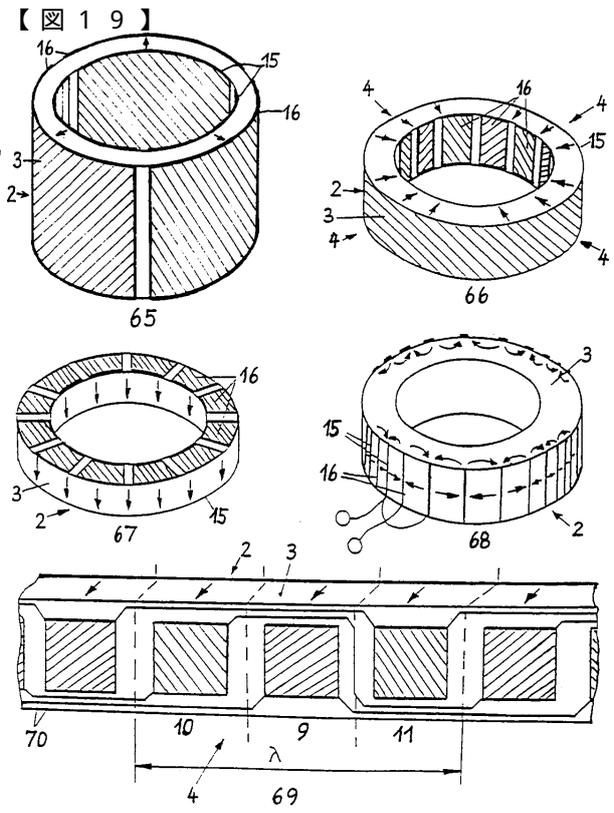
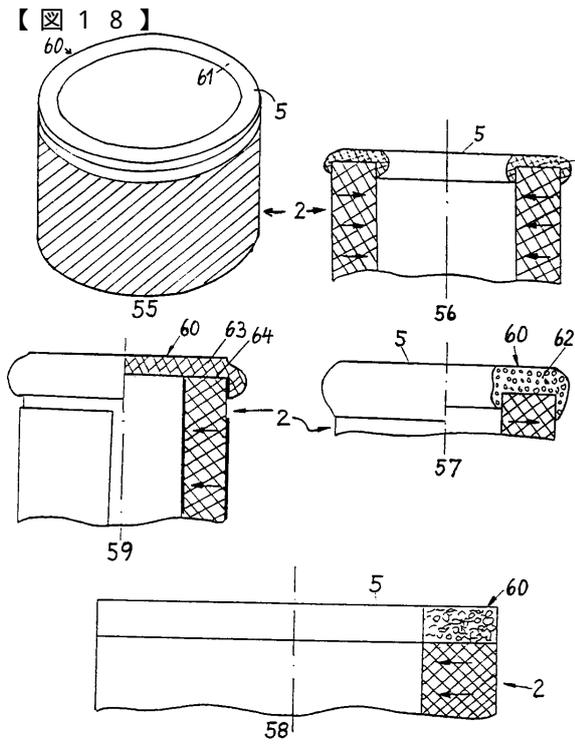


Fig. 17



【 図 2 2 】

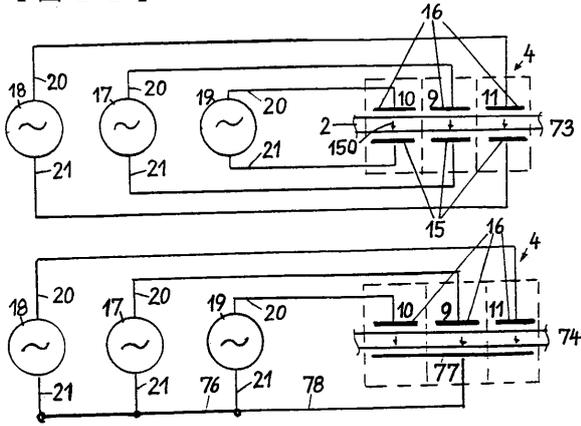


Fig. 22

【 図 2 3 】

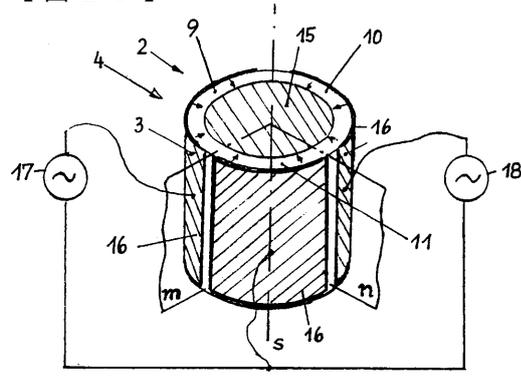


Fig. 23

【 図 2 4 】

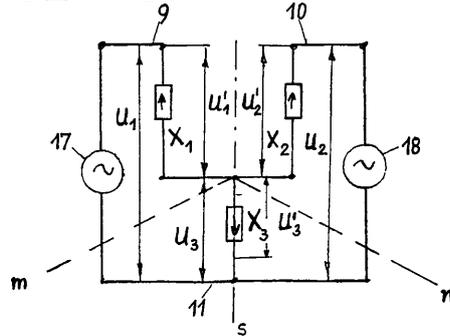


Fig. 24

【 図 2 5 】

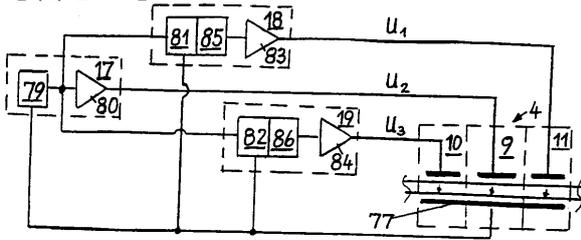


Fig. 25

【 図 2 7 】

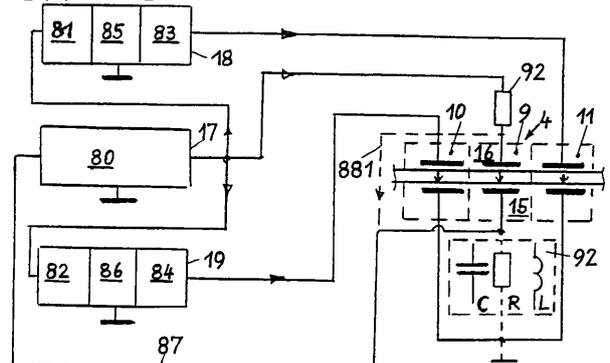


Fig. 27

【 図 2 6 】

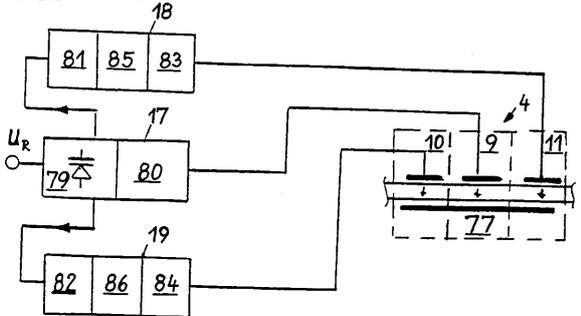


Fig. 26

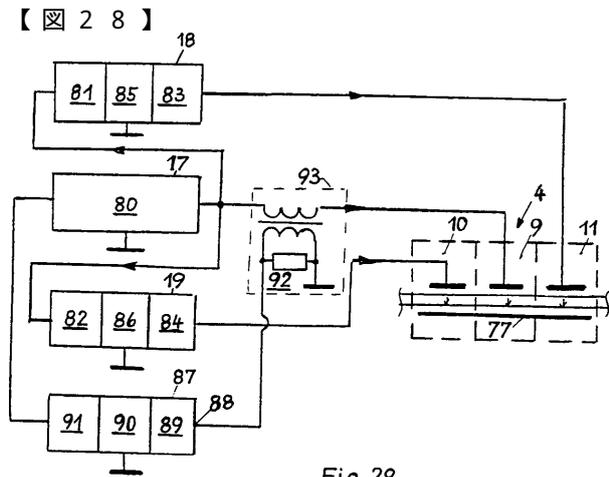


Fig. 28

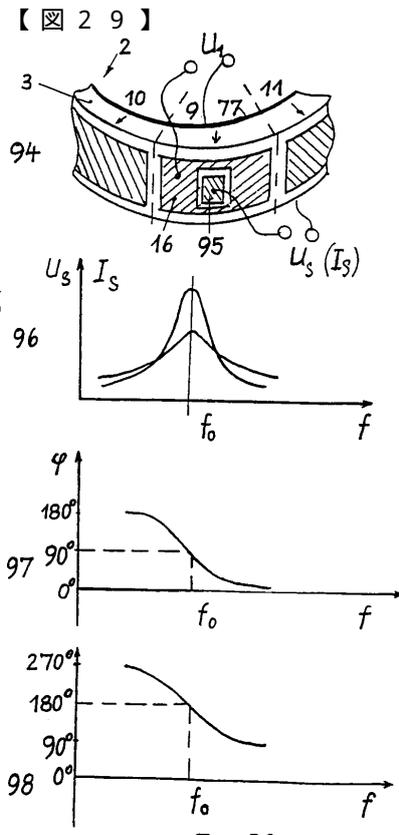


Fig. 29

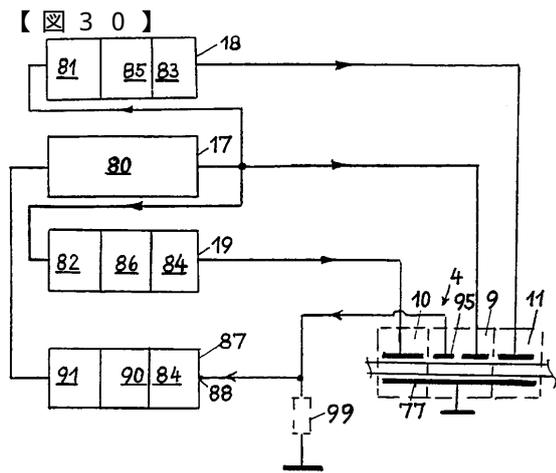


Fig. 30

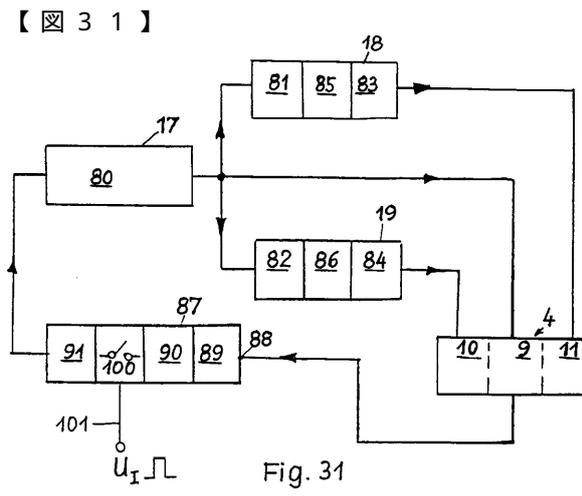
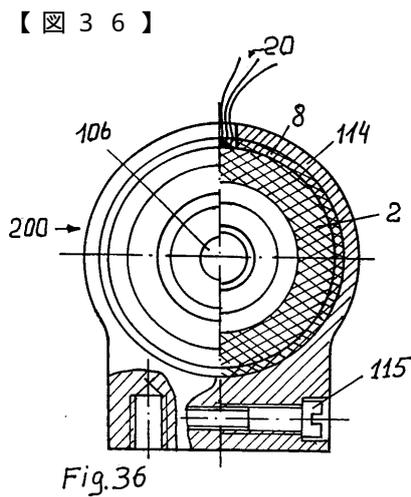
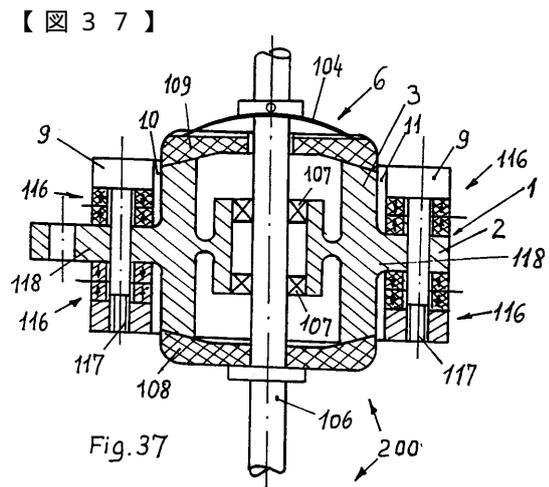
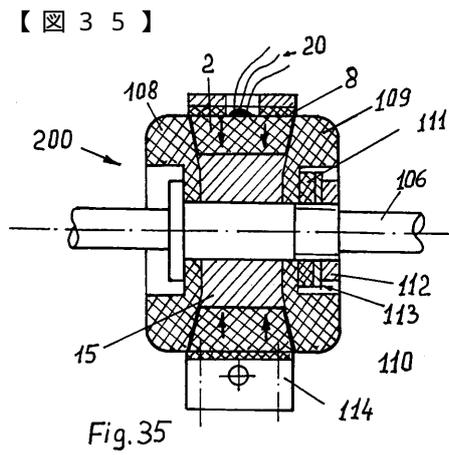
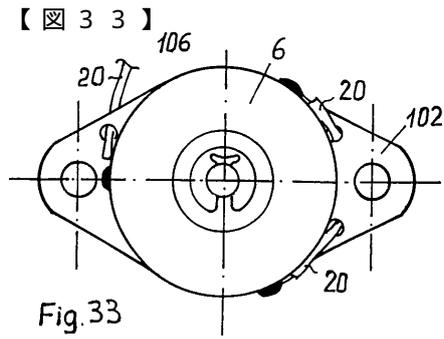
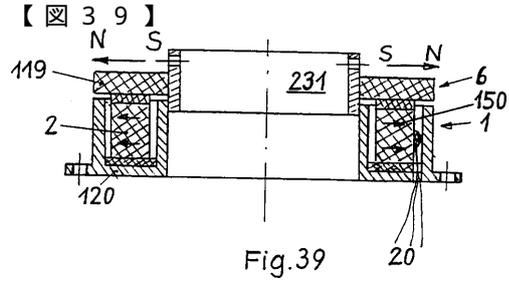
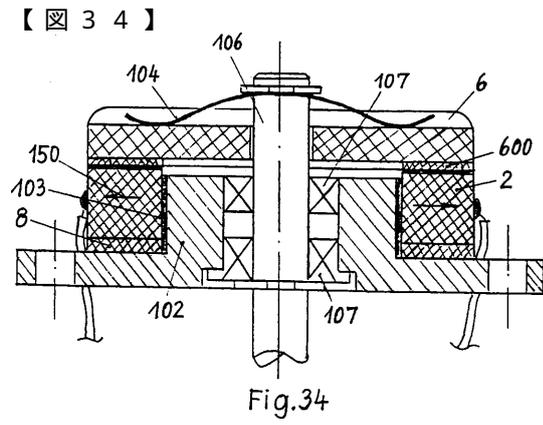
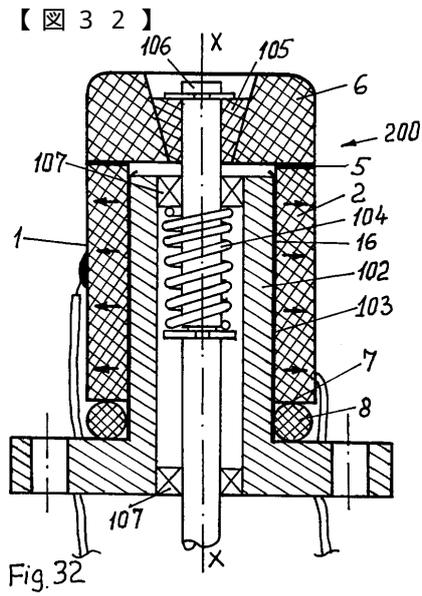


Fig. 31



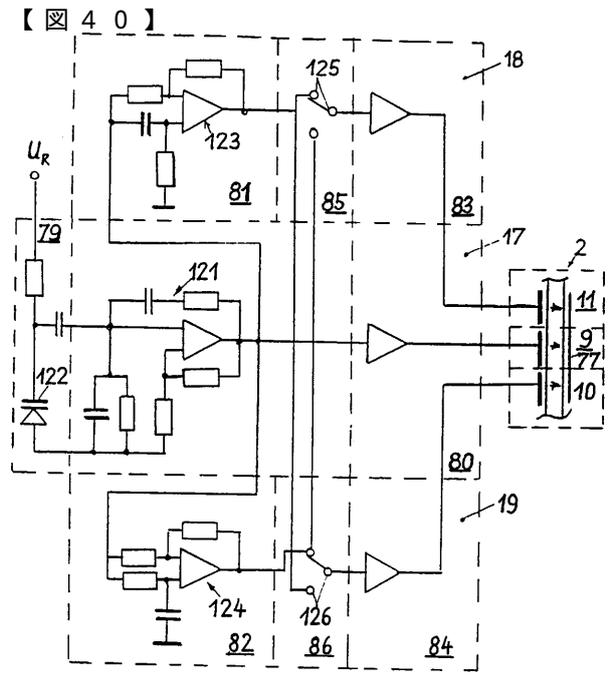
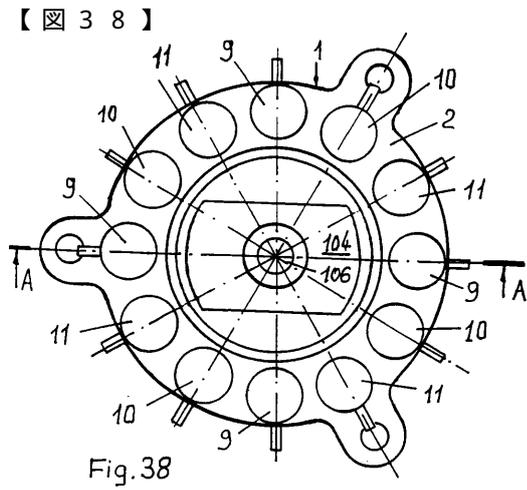


Fig. 40

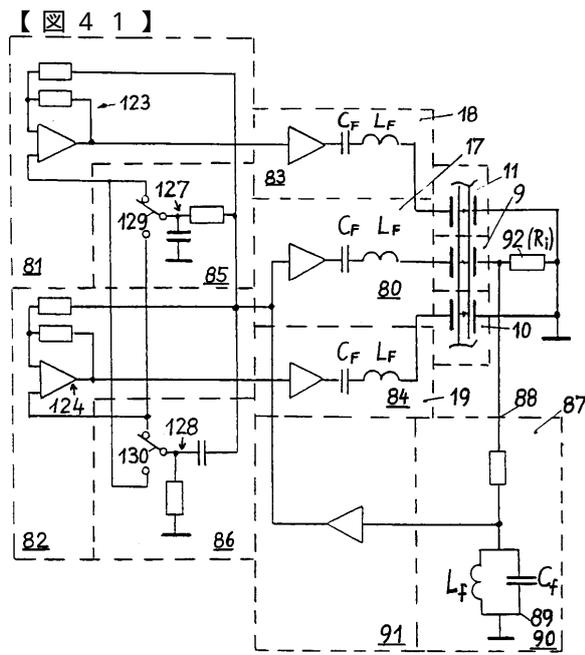


Fig. 41

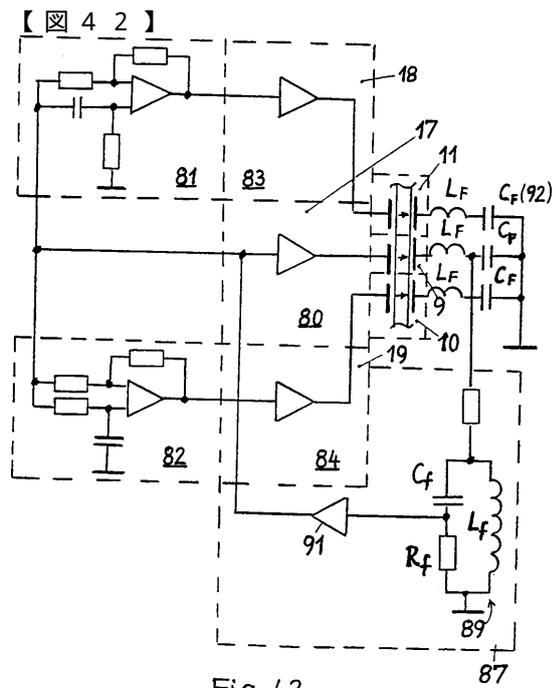


Fig. 42

フロントページの続き

(56)参考文献 特開昭63-124780(JP,A)
特開平05-184166(JP,A)
特開平05-137359(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02N 2/00 - 2/16