

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6581017号
(P6581017)

(45) 発行日 令和1年9月25日(2019.9.25)

(24) 登録日 令和1年9月6日(2019.9.6)

(51) Int.Cl.		F I			
HO2K	5/00	(2006.01)	HO2K	5/00	A
HO2K	5/24	(2006.01)	HO2K	5/24	A

請求項の数 5 (全 22 頁)

(21) 出願番号	特願2016-36153 (P2016-36153)	(73) 特許権者	501137636 東芝三菱電機産業システム株式会社 東京都中央区京橋三丁目1番1号
(22) 出願日	平成28年2月26日(2016.2.26)	(73) 特許権者	504205521 国立大学法人 長崎大学 長崎県長崎市文教町1-14
(65) 公開番号	特開2017-153335 (P2017-153335A)	(74) 代理人	110001092 特許業務法人サクラ国際特許事務所
(43) 公開日	平成29年8月31日(2017.8.31)	(72) 発明者	山崎 豪 東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝三菱電機産業システム株式会社内
審査請求日	平成30年3月7日(2018.3.7)	(72) 発明者	片原田 浩之 東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝三菱電機産業システム株式会社内
特許法第30条第2項適用 2015年9月25日長崎大学において開催された日本機械学会九州支部長崎講演会で発表		最終頁に続く	

(54) 【発明の名称】 回転電機

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

円筒状の固定支持部材と、
 前記固定支持部材内で回転可能に支持された回転子と、
 前記固定支持部材の周方向の所定位置に固定された少なくとも1個の不均一質量体と、
 前記固定支持部材の周方向に所定の開き角をもって配置されて当該固定支持部材を支持する第1および第2の支持脚と、
 前記不均一質量体に対して前記固定支持部材の周方向に離間して配置され前記固定支持部材に取り付けられて前記固定支持部材の半径方向の動きに対する抵抗力を生じる少なくとも1個のフードダンパと、
 を有する回転電機であって、
 前記少なくとも1個の不均一質量体のうちの1個の不均一質量体の周方向位置を原点として前記回転子の回転方向に角度座標を取り、前記第1の支持脚の角度座標位置を θ_1 とし、前記第2の支持脚の角度座標位置を θ_2 とし、 $\theta_2 = \theta_1 + \alpha$ とし、前記フードダンパの角度座標位置を θ_3 とするとき、
 θ_1 が、30～60度、120～150度、210～240度、300～330度、のいずれかであり、
 α が、0～20度、70～110度、160～200度、250～290度、340～360度、のいずれかであり、
 θ_3 が、15～35度、105～125度、195～215度、285～305度、の

いずれかであること、
を特徴とする回転電機。

【請求項 2】

円筒状の固定支持部材と、
前記固定支持部材内で回転可能に支持された回転子と、
前記固定支持部材の周方向の所定位置に固定された少なくとも 1 個の不均一質量体と、
前記固定支持部材の周方向に所定の開き角をもって配置されて当該固定支持部材を支持する第 1 および第 2 の支持脚と、

前記不均一質量体に対して前記固定支持部材の周方向に離間して配置され前記固定支持部材に取り付けられて前記固定支持部材の半径方向の動きに対する抵抗力を生じる第 1 および第 2 のフードダンパと、

を有する回転電機であって、

前記少なくとも 1 個の不均一質量体のうちの 1 個の不均一質量体の周方向位置を原点として前記回転子の回転方向に角度座標を取って、前記第 1 の支持脚の角度座標位置を θ_1 とし、前記第 2 の支持脚の角度座標位置を θ_2 とし、前記第 1 のフードダンパの角度座標位置を ϕ_1 とし、前記第 2 のフードダンパの角度座標位置を ϕ_2 とし、 $\theta_1 = \theta_2 - \phi_1$ 、 $\theta_2 = \theta_1 + \phi_2$ とするとき、

θ_1 が、 $30 \sim 60$ 度、 $120 \sim 150$ 度、 $210 \sim 240$ 度、 $300 \sim 330$ 度、のいずれかであり、

θ_2 が、 $0 \sim 20$ 度、 $70 \sim 110$ 度、 $160 \sim 200$ 度、 $250 \sim 290$ 度、 $340 \sim 360$ 度、のいずれかであり、

ϕ_1 が、 $40 \sim 90$ 度、 $130 \sim 180$ 度、 $220 \sim 270$ 度、 $310 \sim 360$ 度、のいずれかであり、

ϕ_2 が、 $25 \sim 65$ 度、 $115 \sim 155$ 度、 $205 \sim 245$ 度、 $295 \sim 335$ 度、のいずれかであること、

を特徴とする回転電機。

【請求項 3】

円筒状の固定支持部材と、
前記固定支持部材内で回転可能に支持された回転子と、
前記固定支持部材の周方向の所定位置に固定された少なくとも 1 個の不均一質量体と、
前記固定支持部材の周方向に所定の開き角をもって配置されて当該固定支持部材を支持する第 1 および第 2 の支持脚と、

前記不均一質量体に対して前記固定支持部材の周方向に離間して配置され前記固定支持部材に取り付けられて前記固定支持部材の半径方向の動きに対する抵抗力を生じる第 1 および第 2 のフードダンパと、

を有する回転電機であって、

前記少なくとも 1 個の不均一質量体のうちの 1 個の不均一質量体の周方向位置を原点として前記回転子の回転方向に角度座標を取って、前記第 1 の支持脚の角度座標位置を θ_1 とし、前記第 2 の支持脚の角度座標位置を θ_2 とし、前記第 1 のフードダンパの角度座標位置を ϕ_1 とし、前記第 2 のフードダンパの角度座標位置を ϕ_2 とし、 $\theta_1 = \theta_2 - \phi_1$ 、 $\theta_2 = \theta_1 + \phi_2$ とするとき、

θ_1 が、 $30 \sim 60$ 度、 $120 \sim 150$ 度、 $210 \sim 240$ 度、 $300 \sim 330$ 度、のいずれかであり、

θ_2 が、 $0 \sim 20$ 度、 $70 \sim 110$ 度、 $160 \sim 200$ 度、 $250 \sim 290$ 度、 $340 \sim 360$ 度、のいずれかであり、

ϕ_1 が、 $10 \sim 30$ 度、 $100 \sim 120$ 度、 $190 \sim 210$ 度、 $280 \sim 300$ 度、のいずれかであること、

を特徴とする回転電機。

【請求項 4】

前記不均一質量体は複数個あって、これら複数個の不均一質量体の角度座標位置が 0 度

10

20

30

40

50

のほか、80～100度、170～190度、260～280度、の範囲の少なくとも一つにあること、を特徴とする請求項1ないし請求項3のいずれか一項に記載の回転電機。

【請求項5】

前記回転子の回転速度が可変に構成されていることを特徴とする請求項1ないし請求項4のいずれか一項に記載の回転電機。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、不均一質量体、フードダンパおよび複数の支持脚を備えた回転電機に関する。

10

【背景技術】

【0002】

電動機および発電機を含む回転電機の典型的な構造として、固定支持された円筒状の固定子を含む固定支持部材と、固定支持部材内で回転可能に支持された回転子と、を備えたものが広く知られている。回転電機において、固定支持部材と回転子の間に作用している電磁力振動数が固定支持部材の固有振動数と一致する場合に共振が発生し、固定支持部材が振動して電磁騒音が発生することがある。

【0003】

このような回転電機の振動、特に円環振動モードの振動を抑制する対策として、回転電機に動吸振器を取り付ける技術が知られている（特許文献1）。

20

【0004】

また、回転電機の支持脚の位置を考慮して振動を抑制する技術が知られている（特許文献2）。

【0005】

また、粉粒体を用いた制振部材によってモータの振動を抑制する技術が知られている（特許文献3）。

【0006】

さらに、特定の回転数における共振を抑制するために、固定子枠の外側におもり（不均一質量体）を取り付けて固有振動数を変更する技術も知られている（特許文献4）。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0007】

【特許文献1】特開2014-57406号公報

【特許文献2】特開2013-150383号公報

【特許文献3】特開2000-46103号公報

【特許文献4】特開平7-154940号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

上記特許文献1では、動吸振器を取り付ける必要があり、また、回転電機の支持脚に関しては考慮されていない。また、特許文献2では回転電機の支持脚に関して考慮がなされているものの、支持脚を単なる固定支持として取り扱い、弾性支持要素としての考慮はなされていない。

40

【0009】

また、特許文献3には、粉粒体を用いた制振部材をモータの外周のどの位置に取り付けると効果的かということについては何ら開示されていない。

【0010】

さらに、特許文献4には、特定の回転数における共振を抑制するために、固定子枠の外側におもりを取り付けて固有振動数を変更する技術が開示されているものの、支持脚等との関係でおもりをどの位置に配置するのが良いかについては何ら開示されていない。

50

【0011】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、複数の支持脚を備えた回転電機において、動吸振器を用いず、フードダンパおよび不均一質量体を用い、支持脚の弾性変形を考慮して振動抑制を図ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記目的を達成するために、本発明に係る回転電機の一つの態様は、円筒状の固定支持部材と、前記固定支持部材内で回転可能に支持された回転子と、前記固定支持部材の周方向の所定位置に固定された少なくとも1個の不均一質量体と、前記固定支持部材の周方向に所定の開き角をもって配置されて当該固定支持部材を支持する第1および第2の支持脚と、前記不均一質量体に対して前記固定支持部材の周方向に離間して配置され前記固定支持部材に取り付けられて前記固定支持部材の半径方向の動きに対する抵抗力を生じる少なくとも1個のフードダンパと、を有する回転電機であって、前記少なくとも1個の不均一質量体のうちの1個の不均一質量体の周方向位置を原点として前記回転子の回転方向に角度座標を取り、前記第1の支持脚の角度座標位置を θ_1 とし、前記第2の支持脚の角度座標位置を θ_2 とし、 $\theta_2 = \theta_1 + \alpha$ とし、前記フードダンパの角度座標位置を θ_d とするとき、 α が、30°～60°、120°～150°、210°～240°、300°～330°度、のいずれかであり、 α が、0°～20°、70°～110°、160°～200°、250°～290°、340°～360°度、のいずれかであり、 θ_d が、15°～35°、105°～125°、195°～215°、285°～305°度、のいずれかであること、を特徴とする。

10

20

【0013】

本発明に係る回転電機の一つの態様は、円筒状の固定支持部材と、前記固定支持部材内で回転可能に支持された回転子と、前記固定支持部材の周方向の所定位置に固定された少なくとも1個の不均一質量体と、前記固定支持部材の周方向に所定の開き角をもって配置されて当該固定支持部材を支持する第1および第2の支持脚と、前記不均一質量体に対して前記固定支持部材の周方向に離間して配置され前記固定支持部材に取り付けられて前記固定支持部材の半径方向の動きに対する抵抗力を生じる第1および第2のフードダンパと、を有する回転電機であって、前記少なくとも1個の不均一質量体のうちの1個の不均一質量体の周方向位置を原点として前記回転子の回転方向に角度座標を取って、前記第1の支持脚の角度座標位置を θ_1 とし、前記第2の支持脚の角度座標位置を θ_2 とし、前記第1のフードダンパの角度座標位置を θ_{d1} とし、前記第2のフードダンパの角度座標位置を θ_{d2} とし、 $\theta_{d2} = \theta_{d1} + \beta$ 、 $\theta_2 = \theta_1 + \alpha$ とするとき、 α が、30°～60°、120°～150°、210°～240°、300°～330°度、のいずれかであり、 β が、0°～20°、70°～110°、160°～200°、250°～290°、340°～360°度、のいずれかであり、 θ_{d1} が、40°～90°、130°～180°、220°～270°、310°～360°度、のいずれかであり、 θ_{d2} が、25°～65°、115°～155°、205°～245°、295°～335°度、のいずれかであること、を特徴とする。

30

【0014】

本発明に係る回転電機の一つの態様は、円筒状の固定支持部材と、前記固定支持部材内で回転可能に支持された回転子と、前記固定支持部材の周方向の所定位置に固定された少なくとも1個の不均一質量体と、前記固定支持部材の周方向に所定の開き角をもって配置されて当該固定支持部材を支持する第1および第2の支持脚と、前記不均一質量体に対して前記固定支持部材の周方向に離間して配置され前記固定支持部材に取り付けられて前記固定支持部材の半径方向の動きに対する抵抗力を生じる第1および第2のフードダンパと、を有する回転電機であって、前記少なくとも1個の不均一質量体のうちの1個の不均一質量体の周方向位置を原点として前記回転子の回転方向に角度座標を取って、前記第1の支持脚の角度座標位置を θ_1 とし、前記第2の支持脚の角度座標位置を θ_2 とし、前記第1のフードダンパの角度座標位置を θ_{d1} とし、前記第2のフードダンパの角度座標位置を θ_{d2} とし、 $\theta_{d2} = \theta_{d1} + \beta$ 、 $\theta_2 = \theta_1 + \alpha$ とするとき、 α が、30°～60°

40

50

、 $120 \sim 150$ 度、 $210 \sim 240$ 度、 $300 \sim 330$ 度、のいずれかであり、 θ_1 が、 $0 \sim 20$ 度、 $70 \sim 110$ 度、 $160 \sim 200$ 度、 $250 \sim 290$ 度、 $340 \sim 360$ 度、のいずれかであり、 θ_2 が、 $10 \sim 30$ 度、 $100 \sim 120$ 度、 $190 \sim 210$ 度、 $280 \sim 300$ 度、のいずれかであること、を特徴とする。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、複数の支持脚を備えた回転電機において、動吸振器を用いず、フードダンパおよび不均一質量体を用いて、支持脚の弾性変形を考慮して振動抑制を図ることができる。

【図面の簡単な説明】

10

【0016】

【図1】本発明の実施形態に係る回転電機の回転軸に垂直な模式的断面図である。

【図2】回転電機の固定支持部材にかかる電磁力の、回転電機の軸に垂直な断面図における周方向の分布の例を示す図である。

【図3】本発明の実施形態に係る回転電機で、1個の不均一質量体、2個のばね支持および1個のフードダンパを備える場合（ダンパ1個のケース）におけるフードダンパ位置 θ_1 と無次元ばね定数 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図4】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ1個のケース）におけるばね支持開き角 θ_1 と無次元ばね定数 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図5】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ1個のケース）における第1のばね支持位置 θ_1 と不均一質量体の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

20

【図6】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ1個のケース）において、無次元振動数を横軸にとって無次元振幅を縦軸にとった共振曲線の例を示すグラフである。

【図7】本発明の実施形態に係る回転電機で、2個のばね支持および2個のフードダンパを備える場合（ダンパ2個のケース）におけるダンパ開き角 θ_1 と第1のフードダンパ位置 θ_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、ダンパ開き角 θ_1 の影響が小さい場合（第1グループ）について示すグラフである。

【図8】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）におけるダンパ開き角 θ_1 と第1のフードダンパ位置 θ_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、ダンパ開き角 θ_1 の影響が大きい場合（第2グループ）について示すグラフである。

30

【図9】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおけるダンパ開き角 θ_1 と無次元ばね定数 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図10】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおけるダンパ開き角 θ_1 と不均一質量体の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図11】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第1グループにおけるばね支持開き角 θ_1 と無次元ばね定数 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図12】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおけるばね支持開き角 θ_1 と無次元ばね定数 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図13】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第1グループにおけるばね支持開き角 θ_1 と不均一質量体の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

40

【図14】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおけるばね支持開き角 θ_1 と不均一質量体の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図15】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおけるダンパ開き角 θ_1 とフードダンパの質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【図16】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおけるダンパ開き角 θ_1 とフードダンパの減衰比 $\eta_{H1} = \eta_{H2}$ とが振幅に及ぼす影響を示

50

すグラフである。

【図17】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第1グループにおいて、無次元振動数を横軸にとって無次元振幅を縦軸にとった共振曲線の例を示すグラフである。

【図18】本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおいて、無次元振動数を横軸にとって無次元振幅を縦軸にとった共振曲線の例を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下に、図面を参照して、本発明に係る回転電機の実施形態について説明する。

10

【0018】

初めに、本発明に係る回転電機の実施形態の制振に係る解析手法について説明する。

【0019】

図1は、本発明の実施形態に係る回転電機の回転軸に垂直な模式的断面図である。また、図2は、回転電機の固定支持部材にかかる電磁力の、回転電機の軸に垂直な断面図における周方向の分布の例を示す図である。

【0020】

ハンマリング試験において、電磁振動が問題となる数千Hz以下の振動数範囲には軸方向に節があるモードが得られないことが知られている。そのため、簡単のために、回転電機の固定子およびその外側の固定子枠を含めた固定支持部材10を、変位の軸方向の分布を考えない図1に示すような一様な円環で近似することとする。なお、ここで、「固定支持部材」の名称は、回転せずに回転子50を支持するという意味で「固定」とされているのであって、この固定支持部材10の振動を考えると、固定されておらずに振動するものである。

20

【0021】

固定支持部材10は円筒形で、厚さが周方向に一様であるとする。固定支持部材10内側に、固定支持部材10の軸と共通の軸の周りに回転する回転子50が配置されている。固定支持部材10と回転子50の間にはギャップ51が形成されている。

【0022】

固定支持部材10の外側に、不均一質量体11が固定されている。不均一質量体11はP個あって、その円周方向の角度位置を θ_p ($p = 1, \dots, P$)とする。ただし、ここでは、 $P = 1$ とし、その1個の不均一質量体11の位置(θ_1)を原点として、固定支持部材10の周方向で回転子50の回転方向に角度座標を取るものとする。

30

【0023】

固定支持部材10の外側に、円周方向の角度 θ_n ($n = 1, \dots, N$)の位置にN個のばね支持(支持脚)111、112を設置する。図1は、 $N = 2$ の場合を示している。

【0024】

固定支持部材10は円環振動をすることを想定する。ばね定数 k_n のばね支持111、112を介して固定位置に対して固定支持部材10を半径方向に弾性支持するものとする。

40

【0025】

さらに、固定支持部材10の外側に、円周方向の角度 θ_j ($j = 1, \dots, J$)の位置にJ個のフードダンパ(Hood Damper)301、302を設置する。フードダンパとは、一般に、抵抗要素13(減衰係数: c_{Hj})と、その先に取り付けられたダンパ質量体14(質量: m_{Hj})とからなる振動減衰装置を言う。ここでは、固定支持部材10は円環振動をすることを想定しているため、ダンパ質量体14は少なくとも半径方向に移動可能なものとする。図1は、 $J = 2$ の場合を示している。

【0026】

固定支持部材10の半径方向の変位 u は、M個の振動モードを考慮するとき、次式(1

50

)で表される。

【0027】

【数1】

$$u = \sum_{i=1}^M (a_i \cos i\theta + b_i \sin i\theta) \quad (1)$$

【0028】

ここに、

θ : 円周方向の角度座標 (rad)

i : 円周方向の振動モードを表す整数

a_i : θ = 0 に腹をもつコサイン型のモード i の変位

b_i : θ = π / (2i) に腹をもつサイン型のモード i の変位

【0029】

回転電機に作用する外力として一般的なものは、半径方向に作用する力が円周方向に分布するとともに円周方向に回転する電磁力であるので、それを次式(2)で表す。

【0030】

【数2】

$$F(\theta, t) = F_s \cos(-\Omega_s t + s\theta) \quad (2)$$

【0031】

ここに

s : 電磁力のモードを表す整数

Ω_s : モード s をもつ電磁力の角振動数

F_s : モード s の電磁力の振幅

【0032】

実際の電磁力は多くの振動数成分を含むが、簡単のため F_s cos(-Ω_st + sθ) の成分のみが作用する場合を考える。また、ばね定数 k_n はそれほど大きくないとして、i 次モードのみ採用し、i = s の場合を扱うとき、運動方程式は以下の式(3)~式(5)のようになる。

【0033】

【数3】

$$\begin{aligned} & \left(1 + \frac{1}{i^2}\right) \pi r \rho A \ddot{a}_i + c_{oi} \dot{a}_i + (1 - i^2)^2 EI \frac{\pi}{r^3} a_i \\ & + \sum_{j=1}^J c_{ij} \cos i\theta_j (\dot{a}_i \cos i\theta_j + \dot{b}_i \sin i\theta_j - \dot{x}_j) \\ & + \sum_{n=1}^N k_n \cos i\alpha_n (a_i \cos i\alpha_n + b_i \sin i\alpha_n) \\ & + \sum_{p=1}^P m_{ip} \cos i\alpha_p (\ddot{a}_i \cos i\alpha_p + \ddot{b}_i \sin i\alpha_p) \\ & = \pi F_s \cos \Omega_s t \end{aligned} \quad (3)$$

【0034】

10

20

30

40

【数4】

$$\begin{aligned}
& \left(1 + \frac{1}{i^2}\right) \pi r \rho A \ddot{b}_i + c_{0i} \dot{b}_i + (1 - i^2)^2 EI \frac{\pi}{r^3} b_i \\
& + \sum_{j=1}^J c_{Hj} \sin i \theta_j (\dot{a}_i \cos i \theta_j + \dot{b}_i \sin i \theta_j - \dot{x}_j) \\
& + \sum_{n=1}^N k_n \sin i \alpha_n (a_i \cos i \alpha_n + b_i \sin i \alpha_n) \\
& + \sum_{p=1}^P m_{Ip} \sin i \alpha_p (\ddot{a}_i \cos i \alpha_p + \ddot{b}_i \sin i \alpha_p) \\
& = \pi F_s \sin \Omega_s t \quad (4)
\end{aligned}$$

【0035】

【数5】

$$m_{Hj} \ddot{x}_j + c_{Hj} \left\{ \dot{x}_j - (\dot{a}_i \cos i \theta_j + \dot{b}_i \sin i \theta_j) \right\} = 0 \quad (5)$$

【0036】

ここに

r : 円環の半径

E : 円環支持部材の縦弾性係数

A : 円環の断面積 (長方形断面の場合は円環の厚さ H と軸 (幅) 方向長さ W との積、 A = H × W)

I : 円環の面に垂直な主軸に関する断面二次モーメント (長方形断面の場合は、 I = W H³ / 12)

ρ : 円環の密度

N : ばね支持の個数

J : フードダンパの個数

P : 不均一質量体の個数

k_n : = n に設置したばね支持のばね定数 (n = 1 , . . . , N)c_{0i} : 主系の粘性減衰係数 (i = 1 , . . . , M)x_j : = j に設置したフードダンパの変位 (j = 1 , . . . , J)m_{Hj} : = j に設置したフードダンパの質量μ_{Hj} : = j に設置したフードダンパの質量比μ_{Hj} = m_{Hj} / { (5 / 4) r A }c_{Hj} : = j に設置したフードダンパの粘性減衰係数h_j : = j に設置したフードダンパの減衰比h_j = c_{Hj} / (2 m_{Hj} ω₂)ω₂² = 36 EI / (5 A r⁴)m_{Ip} : = p に設置した不均一質量体の質量

【0037】

ここでは i = 2 のモードを例に取ることとし、不均一質量体とばね支持とフードダンパによる制振を考える。例えば、フードダンパ 2 個では式 (3) ~ 式 (5) の定常解を次の式 (6) ~ 式 (9) のようにおく。

$$a_2 = A_1 \cos \omega_2 t + B_1 \sin \omega_2 t \quad (6)$$

$$b_2 = A_2 \cos \omega_2 t + B_2 \sin \omega_2 t \quad (7)$$

$$x_1 = A_3 \cos \omega_2 t + B_3 \sin \omega_2 t \quad (8)$$

$$x_2 = A_4 \cos \omega_2 t + B_4 \sin \omega_2 t \quad (9)$$

10

20

30

40

50

【0038】

なお、 i が 0 の場合は、円環の形状がそのままの形状で大きくなったり小さくなったりする振動となる。また、 i が 1 の場合は、円環の形状および大きさがそのまま、一つの周方向の位置とその反対側に交互に変位する振動となる。

【0039】

i が 2 の場合は、半径方向の変位は図 2 に示した力の分布と同様に、周方向に 90 度ごとに、振幅が最大となる腹と、腹と腹との中間位置にあつて振幅が最小となる節とが形成される。 i が 3 以上の場合も、周方向に等間隔に交互に腹と節が形成される。実際の回転電機における振動現象では、通常、 $i = s$ が 2 の場合が最も重要である。よつて、以下、 $i = s = 2$ の場合について検討を進める。したがつて、以下に説明する周方向の各角度位置の各現象は、その角度から 180 度ずれた位置で、各時刻の変位、速度、加速度などが同じで、その角度から 90 度、270 度ずれた位置では、各時刻の変位、速度、加速度などの絶対値が同じで符号が逆の現象が生じていることを意味する。

【0040】

[数値解析結果]

(フードダンパ 1 個のケース)

初めに、1 個の不均一質量体 11、2 個のばね支持 111、112、1 個のフードダンパ 301 の場合 (以下、単に「フードダンパ 1 個のケース」とも呼ぶ。) の固定支持部材 10 の円環振動の状況について説明する。1 個の不均一質量体 11 が角度座標位置 $\theta = 0$ 度の位置 ($\theta_1 = 0$ 度) にあり ($P = 1$)、第 1 および第 2 のばね支持 111、112 がそれぞれ、角度座標位置 θ_1 、 θ_2 の位置にあり、1 個のフードダンパ 301 が角度座標位置 θ_1 の位置にある場合 ($J = 1$) の固定支持部材 10 の円環振動の状況を数値解析した。

【0041】

このケースでは、図 1 に示す 2 個目のフードダンパ 302 は存在しない。フードダンパ 301 と不均一質量体 11 との間のダンパ・不均一質量体開き角 (フードダンパ 301 の角度座標位置) は θ_1 である。ここで、二つのばね支持 111、112 の間の開き角 $\theta_2 - \theta_1$ をばね支持開き角と呼ぶ。

【0042】

このフードダンパ 1 個のケースの解析結果について図 3 ~ 図 6 に示す。なお、比較のために、不均一質量体もフードダンパもばね支持も全くない場合の計算結果 (Without spring support, Houde damper and imperfect mass) についても、図 3 ~ 図 6 中に表示する。

【0043】

この発明の実施形態は、解析で得られる振幅が、できるだけ小さくなるような条件を満足するものである。

【0044】

なお、図 3 ~ 図 6 で、縦軸 A^2 は、次式 (10) で示すように、式 (1) で表される半径方向の変位 u の 2 乗を空間と時間で平均したものを $(F_2 / k_{02})^2$ で除して無次元化したもので定義している。

【0045】

【数 6】

$$A^2 = \frac{1}{T \cdot 2\pi} \int_0^T \int_0^{2\pi} u^2 d\theta dt / (F_2 \pi / k_{02})^2 \quad (10)$$

【0046】

ただし、 $k_{02} = 9EI / r^3$ 、 $T = 2\pi / \omega_2$ とする。

【0047】

また、図 6 に示す共振曲線の横軸は、 ω_2 / ω_{02} として電磁力の角振動数を 2 次

10

20

30

40

50

モードの固有角振動数で無次元化している。ただし、 $\omega_2^2 = 36EI / (5Ar^4)$ とする。したがって、図6の横軸の $\alpha = 1$ が、主系の2次モードの無次元固有角振動数、つまり、共振点となる。

【0048】

さらに、図3～図5の縦軸の無次元振幅の値としては、設定した各パラメータの値を用いた計算から得られた共振曲線の最大の無次元振幅の値を採用している。

【0049】

図3は、本発明の実施形態に係る回転電機で、1個の不均一質量体11と2個のばね支持111、112および1個のフードダンパ301を備える場合(ダンパ1個のケース)におけるダンパ・不均一質量体開き角 α_1 と無次元ばね定数 β_1 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。ここでは、不均一質量体11の質量比 $\mu_I = 0.1$ とし、 $\alpha_1 = 135$ 度、 $\alpha_2 = 225$ 度、 $\beta_2 - \beta_1 = 90$ 度とする。さらに、フードダンパ301の質量比 $\mu_{H1} = 0.1$ 、フードダンパ301の減衰比 $\gamma_{H1} = 0.5$ とする。

10

【0050】

第1および第2のばね支持111、112の無次元ばね定数 β_1 、 β_2 は互いに等しいとして、これらの値が、0.025、0.0375、0.05、および、0.075の場合について計算した。

【0051】

図3から、不均一質量体11とばね支持111、112とフードダンパ301の存在により、これらが無い場合に比べて振幅が大幅に小さくなるのがわかる。また、振幅は、無次元ばね定数 β_1 、 β_2 の大きさに依存するものの、無次元ばね定数 β_1 、 β_2 の大きさにかかわらずダンパ・不均一質量体開き角 α_1 が15～35度の場合に振幅が最小となることがわかる。たとえば、 $\beta_1 = \beta_2 = 0.05$ の場合には、 $\alpha_1 = 23$ 度のときに振幅が最小になる。

20

【0052】

図4は、本発明の実施形態に係る回転電機(ダンパ1個のケース)におけるばね支持開き角 $\beta_2 - \beta_1$ と無次元ばね定数 β_1 、 β_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。ここで、図3の場合と同様に、不均一質量体11の質量比 $\mu_I = 0.1$ とし、フードダンパ301の質量比 $\mu_{H1} = 0.1$ 、フードダンパ301の減衰比 $\gamma_{H1} = 0.5$ 、ばね・不均一質量体開き角 $\alpha_1 = 135$ 度とする。また、ダンパ・不均一質量体開き角 α_1 は、23度とする。この α_1 の値は、図3において、 $\beta_1 = \beta_2 = 0.05$ の場合の振幅が最小になる場合である。

30

【0053】

図4では、図3の場合と同様に、無次元ばね定数 β_1 、 β_2 は互いに等しいとして、これらの値が、0.025、0.0375、0.05、および、0.075の場合について計算した。図4では、ばね支持開き角 $\beta_2 - \beta_1$ が0～180度の範囲で計算したが、角度座標位置で0～90度の現象と90～180度の現象は同じである。

【0054】

図4に示す計算結果により、振幅は、無次元ばね定数 β_1 、 β_2 の大小にかかわらず、ばね支持開き角 $\beta_2 - \beta_1$ が、0～20度、70～110度または160～180度のときに特に小さいことがわかる。

40

【0055】

図5は、本発明の実施形態に係る回転電機(ダンパ1個のケース)における第1のばね支持111の角度座標位置(ばね・不均一質量体開き角) α_1 と不均一質量体11の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。ここで、図3の場合と同様に、ばね支持111、112の無次元ばね定数 $\beta_1 = \beta_2 = 0.05$ 、フードダンパ301の質量比 $\mu_{H1} = 0.1$ 、フードダンパ301の減衰比 $\gamma_{H1} = 0.5$ とする。また、ダンパ・不均一質量体開き角 $\alpha_1 = 23$ 度とする。この α_1 の値は、図3において、 $\beta_1 = \beta_2 = 0.05$ の場合の振幅が最小になる場合である。

【0056】

50

図5では、不均一質量体11の質量比 μ_I の値が、0.05、0.1、および、0.15の場合について計算した。図5では、ばね・不均一質量体開き角 α_1 が0~180度の範囲で計算したが、角度座標位置で0~90度の現象と90~180度の現象は同じである。

【0057】

図5に示す計算結果により、振幅は、不均一質量体11の質量比 μ_I の大小にかかわらず、ばね・不均一質量体開き角 α_1 が30~60度または120~150度のときに特に小さいことがわかる。

【0058】

図6は、本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ1個のケース）において、無次元振動数を横軸にとって無次元振幅を縦軸にとった共振曲線の例を示すグラフである。図6の計算条件は、図3および図4によって得られた振幅が特に小さくなる範囲から選んだものである。すなわち、 $\alpha_I = 0$ 度、 $\alpha_1 = 135$ 度、 $\alpha_2 = 225$ 度、 $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1 = 90$ 度とし、 $\alpha_1 = 23$ 度とした。さらに、不均一質量体11の質量比 $\mu_I = 0.1$ 、ばね支持111、112の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ301の質量比 $\mu_{H1} = 0.1$ 、フードダンパ301の減衰比 $\gamma_{H1} = 0.5$ とした。

【0059】

図6には、比較のために、不均一質量体11もばね支持もフードダンパもない場合の共振曲線C1も示している。共振曲線C1では、サインモードとコサインモードの固有振動数が同じであるため、無次元化した角振動数 $\omega = 1$ でピークを一つだけ持つ。これに対して、この不均一質量体1個とばね支持2個とダンパ1個のケースでは、サインモード（sin mode）の曲線とコサインモード（cos mode）の曲線の固有振動数がそれぞれ $\omega = 1$ より高い方と低い方にずれ、しかも各モードのピーク値が低くなっている。そのため、サインモードとコサインモードの和である実際の共振曲線（sin mode + cos mode）のピーク値は共振曲線C1のピーク値よりも著しく低くなっている。

【0060】

また、無次元振動数 $\omega = 1.0$ の場合の振幅が小さくなるだけでなく、 α が変化しても振幅が抑えられることから、可変回転数で運転される回転電機（たとえば、インバータ駆動の電動機）において、大きな制振効果が得られる。

【0061】

以上説明したように、1個の不均一質量体11、2個のばね支持111、112および1個のフードダンパ301を備える場合には、ばね支持開き角 $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ を70~110度とし、ダンパ・不均一質量体開き角 α_1 を15~35度に設定することによって、振幅を小さくできることがわかる。ただし、これらの角度に90度、180度、270度のいずれかを加えた角度にしても効果は同じである。したがって、振幅を小さくする条件は、ばね支持開き角 $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ が70~110度、160~200度、250~290度、340~380度（340~360度および0~20度に相当）のいずれかであり、かつ、ダンパ・不均一質量体開き角 α_1 が15~35度、105~125度、195~215度、285~305度、かつ、ばね・不均一質量体開き角 α_1 が30~60度、120~150度、210~240度、300~330度のいずれかである。

【0062】

（ダンパ2個のケース）

つぎに、1個の不均一質量体11、2個のばね支持111、112および2個のフードダンパ301、302を備える場合（以下、単に「ダンパ2個のケース」とも呼ぶ。）の計算について説明する。前述のダンパ1個のケースの場合と同様に、図1に示すように、1個の不均一質量体11が角度座標位置 $\alpha_I = 0$ 度に配置され、第1および第2のばね支持111、112が、それぞれ、角度座標位置 α_1 、 α_2 に配置されている。ばね支持111、112同士の間のはね支持開き角 α は、 $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ である。さらに、第1のフードダンパ301が角度座標位置 α_1 に配置され、第2のフードダンパ302が

10

20

30

40

50

角度座標位置 θ_2 に配置されている。フードダンパ 301, 302 同士の間のダンパ開き角 α を、 $\alpha = \theta_2 - \theta_1$ と定義する。第 1 のフードダンパ 301 と不均一質量体 11 との間のダンパ・不均一質量体開き角は θ_1 である。

【0063】

上述以外の解析条件は、特に説明していない限り、ダンパ 1 個のケースと同様とする。

【0064】

このダンパ 2 個のケースの解析結果を図 7 ~ 図 16 に示す。

【0065】

図 7 は、本発明の実施形態（ダンパ 2 個のケース）におけるダンパ開き角 α とダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、ダンパ開き角 α の影響が小さい場合（第 1 グループ）について示すグラフである。

10

【0066】

図 8 は、図 7 の場合と同様のダンパ 2 個のケースにおけるダンパ開き角 α とダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、ダンパ開き角 α の影響が大きい場合（第 2 グループ）について示すグラフである。

【0067】

図 7 および図 8 では、第 1 および第 2 のばね支持 111、112 の角度座標位置（ばね・不均一質量体開き角） θ_1 、 θ_2 を、 $\theta_1 = 135$ 度、 $\theta_2 = 225$ 度とし、ばね支持開き角 $\alpha = \theta_2 - \theta_1 = 90$ 度とし、ばね支持 111、112 の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ 301、302 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ 301、302 の減衰比 $\gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5$ とした。なお、図 7 および図 8 で、比較のために、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合も示している。

20

【0068】

ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 の値をパラメータとしてこれを 0 ~ 90 度で種々に変えて、ダンパ開き角 $\alpha = \theta_2 - \theta_1$ が振幅に及ぼす影響を調べた。なお、ダンパ・不均一質量体開き角 $\theta_1 = 0$ 度の場合と $\theta_1 = 90$ 度の場合の計算結果は同じである。図 7 に示すように、ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 が 10 ~ 30 度の範囲（具体的計算例では、10 度、20 度、30 度）では、ダンパ開き角 α の影響が小さく、図 8 に示すように、ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 が 40 ~ 90 度の範囲（具体的計算例では、40 度、50 度、60 度、70 度、80 度、90 度）では、ダンパ開き角 α の影響が大きいことがわかった。ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 が 40 ~ 90 度の範囲（図 8）においては、ダンパ開き角 α が 25 ~ 65 度の範囲のときに、振幅が小さくなる。

30

【0069】

図 9 は、本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ 2 個のケース）の第 2 グループのダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 が 0 度（90 度でも同様）におけるダンパ開き角 α と無次元ばね定数 k とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。図 7 および図 8 と同様に、ばね支持開き角 $\alpha = \theta_2 - \theta_1 = 90$ 度とし、フードダンパ 301、302 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ 301、302 の減衰比 $\gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5$ とした。第 1 および第 2 のばね支持 111、112 の無次元ばね定数 k_1 、 k_2 は互いに等しいとして、これらの値が、0.025、0.0375、0.05、および、0.075 の場合について計算した。また、比較のために、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合も示している。

40

【0070】

図 9 から、不均一質量体 11 とばね支持 111、112 とフードダンパ 301、302 の存在により、これらがない場合に比べて振幅が大幅に小さくなることがわかる。また、振幅は、無次元ばね定数 k_1 、 k_2 の大きさに依存するものの、無次元ばね定数 k_1 、 k_2 の大きさにかかわらずダンパ開き角 α が 25 ~ 65 度の場合に振幅が最小となることがわかる。

【0071】

図 10 は、本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ 2 個のケース）の第 2 グループの

50

ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 が 0 度 (90 度と等しい) におけるダンパ開き角 θ と不均一質量体 11 の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。図 7 ~ 図 9 と同様に、ばね支持開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1 = 90$ 度とし、フードダンパ 301、302 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ 301、302 の減衰比 $\gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5$ とした。不均一質量体 11 の質量比 μ_I の値が、0.05、0.1、および、0.15 の場合について計算した。また、比較のために、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合も示している。

【 0072 】

図 10 から、不均一質量体 11 とばね支持 111、112 とフードダンパ 301、302 の存在により、これらがない場合に比べて振幅が大幅に小さくなるのがわかる。また、振幅は、不均一質量体 11 の質量比 μ_I の大きさに依存するものの、不均一質量体 11 の質量比 μ_I の大きさにかわらずダンパ開き角 θ が 25 ~ 65 度の場合に振幅が最小となることがわかる。

10

【 0073 】

図 11 は、本発明の実施形態に係る回転電機 (ダンパ 2 個のケース) の第 1 グループにおけるばね支持開き角 θ と無次元ばね定数 k_1 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 は 20 度とし、ダンパ開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ は、図 7 で振幅が小さくなるような好ましい値として 6 度とした。また、図 9 と同様に、フードダンパ 301、302 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ 301、302 の減衰比 $\gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5$ とした。

20

【 0074 】

図 9 と同様に、第 1 および第 2 のばね支持 111、112 の無次元ばね定数 k_1 、 k_2 は互いに等しいとして、これらの値が、0.025、0.0375、0.05、および、0.075 の場合について計算した。図 11 では、ばね支持開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ が 0 ~ 180 度の範囲で計算したが、角度座標位置で 0 ~ 90 度の現象は 90 ~ 180 度の現象は同じである。また、比較のために、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合も示している。

【 0075 】

図 11 に示す計算結果により、振幅は、無次元ばね定数 k_1 、 k_2 の大小にかかわらず、ばね支持開き角 θ が 70 ~ 110 度または 160 ~ 200 度 (図 11 で、 θ が 160 ~ 180 度および 0 ~ 20 度に相当) のときに特に小さいことがわかる。

30

【 0076 】

図 12 は、本発明の実施形態に係る回転電機 (ダンパ 2 個のケース) の第 2 グループにおけるばね支持開き角 θ と無次元ばね定数 k_1 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 は 90 度とし、ダンパ開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ は、図 7 で振幅が小さくなるような好ましい値として 33 度とした。その他の条件は、図 11 と同様に、フードダンパ 301、302 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ 301、302 の減衰比 $\gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5$ とした。

【 0077 】

図 12 において、振幅は、無次元ばね定数 k_1 、 k_2 の大小にかかわらず、ばね支持開き角 θ が 70 ~ 110 度または 160 ~ 200 度 (図 12 で、 θ が 160 ~ 180 度および 0 ~ 20 度に相当) のときに特に小さいことがわかる。

40

【 0078 】

図 13 は、本発明の実施形態に係る回転電機 (ダンパ 2 個のケース) の第 1 グループにおけるばね支持開き角 θ と不均一質量体 11 の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。

【 0079 】

ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 は 20 度とし、ダンパ開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ は、図 7 で振幅が小さくなるような好ましい値として 6 度とした。また、図 10 と同様に、ばね支持 111、112 の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ 301、30

50

2の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ301、302の減衰比 $H1 = H2 = 0.5$ とした。図10と同様に、不均一質量体11の質量比 μ_I の値が、0.05、0.1、および、0.15の場合について計算した。また、比較のために、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合も示している。

【0080】

図13に示す計算結果により、振幅は、不均一質量体11の質量比 μ_I の大小にかかわらず、ばね支持開き角 θ が70~110度または160~200度(図13で、 θ が160~180度および0~20度に相当)のときに特に小さいことがわかる。

【0081】

図14は、本発明の実施形態に係る回転電機(ダンパ2個のケース)の第2グループにおけるばね支持開き角 θ と不均一質量体11の質量比 μ_I とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。ダンパ・不均一質量体開き角 α_1 は90度とし、ダンパ開き角 $\alpha_2 - \alpha_1$ は、図9で振幅が小さくなるような好ましい値として33度としたことを除けば図11と同様のパラメータ値、ばね支持111、112の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ301、302の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ301、302の減衰比 $H1 = H2 = 0.5$ を用いている。

【0082】

図14に示す計算結果により、振幅は、不均一質量体11の質量比 μ_I の大小にかかわらず、ばね支持開き角 θ が70~110度または160~200度(図14で、 θ が160~180度および0~20度に相当)のときに特に小さいことがわかる。

【0083】

図15は、本発明の実施形態に係る回転電機(ダンパ2個のケース)の第2グループにおけるダンパ開き角 $\alpha_2 - \alpha_1$ とフードダンパ301、302の質量比 μ_{H1} 、 μ_{H2} とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。図15の曲線のうち、 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ の曲線は、図8における $\alpha_1 = 90$ 度の曲線に相当する。すなわち、第1および第2のばね支持111、112の角度座標位置 α_1 、 α_2 を、 $\alpha_1 = 135$ 度、 $\alpha_2 = 225$ 度とし、ばね支持開き角 $\alpha_2 - \alpha_1 = 90$ 度とし、ばね支持111、112の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ301、302の減衰比 $H1 = H2 = 0.5$ とする。なお、図15で、比較のために、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合も示している。

【0084】

図15から、ダンパ2個のケースの第2グループにおいて、フードダンパ301、302の質量比 μ_{H1} 、 μ_{H2} の大きさに依存するものの、フードダンパ301、302の質量比 μ_{H1} 、 μ_{H2} の大きさにかわらずダンパ開き角 $\alpha_2 - \alpha_1$ が25~65度の場合に振幅が最小となることがわかる。

【0085】

図16は、本発明の実施形態に係る回転電機(ダンパ2個のケース)の第2グループにおけるダンパ開き角 $\alpha_2 - \alpha_1$ とフードダンパ301、302の減衰比 $H1$ 、 $H2$ とが振幅に及ぼす影響を示すグラフである。図16の曲線のうち、 $H1 = H2 = 0.5$ の曲線は、図8における $\alpha_1 = 90$ 度の曲線に相当する。すなわち、第1および第2のばね支持111、112の角度座標位置 α_1 、 α_2 を、 $\alpha_1 = 135$ 度、 $\alpha_2 = 225$ 度とし、ばね支持開き角 $\alpha_2 - \alpha_1 = 90$ 度とし、ばね支持111、112の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ301、302の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ とする。なお、図16で、比較のために、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合も示している。

【0086】

図16から、ダンパ2個のケースの第2グループにおいて、フードダンパ301、302の減衰比 $H1$ 、 $H2$ の大きさに依存するものの、フードダンパ301、302の減衰比 $H1$ 、 $H2$ の大きさにかわらずダンパ開き角 $\alpha_2 - \alpha_1$ が25~65度の場合に振幅が最小となることがわかる。

10

20

30

40

50

【0087】

図17は、本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第1グループにおいて、無次元振動数を横軸にとって無次元振幅を縦軸にとった共振曲線の例を示すグラフである。図17の計算条件は、図7によって得られた振幅が特に小さくなる範囲から選んだものである。すなわち、 $\alpha_1 = 135$ 度、 $\alpha_2 = 225$ 度、 $\beta = \alpha_2 - \alpha_1 = 90$ 度とし、 $\gamma_1 = 20$ 度、 $\gamma_2 = 26$ 度、 $\delta = \gamma_2 - \gamma_1 = 6$ 度とした。さらに、ばね支持111、112の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ301、302の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ301、302の減衰比 $\zeta_{H1} = \zeta_{H2} = 0.5$ とした。

【0088】

図17には、図6と同様に、不均一質量体もばね支持もフードダンパもない場合の共振曲線C1も示している。このダンパ2個のケースでは、図6に示すダンパ1個のケースと同様に、サインモード（sin mode）の曲線とコサインモード（cos mode）の曲線の固有振動数がそれぞれ $\omega = 1$ より高い方と低い方にずれ、しかも各モードのピーク値が低くなっている。そのため、サインモードとコサインモードの和である実際の共振曲線（sin mode + cos mode）のピーク値は共振曲線C1のピーク値よりも著しく低くなっている。

【0089】

また、ダンパ1個のケース（図6）と同様に、無次元振動数 $\omega = 1.0$ の場合の振幅が小さくなるだけでなく、 ω が変化しても振幅が抑えられることから、可変回転数で運転される回転電機において、大きな制振効果が得られる。

【0090】

図18は、本発明の実施形態に係る回転電機（ダンパ2個のケース）の第2グループにおいて、無次元振動数を横軸にとって無次元振幅を縦軸にとった共振曲線の例を示すグラフである。図18の計算条件は、図8によって得られた振幅が特に小さくなる範囲から選んだものである。すなわち、 $\alpha_1 = 135$ 度、 $\alpha_2 = 225$ 度、 $\beta = \alpha_2 - \alpha_1 = 90$ 度とし、 $\gamma_1 = 90$ 度、 $\gamma_2 = 123$ 度、 $\delta = \gamma_2 - \gamma_1 = 33$ 度とした。さらに、ばね支持の無次元ばね定数 $k_1 = k_2 = 0.05$ 、フードダンパ301、302の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ301、302の減衰比 $\zeta_{H1} = \zeta_{H2} = 0.5$ とした。

【0091】

図18に示す計算結果は図17の計算結果とほぼ同様であって、共振曲線（sin mode + cos mode）のピーク値は共振曲線C1のピーク値よりも著しく低くなっている。

【0092】

以上説明したように、1個の不均一質量体11、2個のばね支持111、112および2個のフードダンパ301、302を備える場合において、ダンパ・不均一質量体開き角 α_1 が $10 \sim 30$ 度の場合（第1グループ）には、ばね支持開き角 $\beta = \alpha_2 - \alpha_1$ を $70 \sim 110$ 度に設定することによって、ダンパ開き角 $\gamma = \gamma_2 - \gamma_1$ にかかわらず、振幅を小さくできることがわかる。

【0093】

また、ダンパ・不均一質量体開き角 α_1 が $40 \sim 90$ 度の場合（第2グループ）には、ばね支持開き角 $\beta = \alpha_2 - \alpha_1$ を $70 \sim 110$ 度とし、ダンパ開き角 $\gamma = \gamma_2 - \gamma_1$ を $25 \sim 65$ 度に設定することによって、振幅を小さくできることがわかる。

【0094】

また、上記の角度に 90 度、 180 度、 270 度のいずれかを加えた角度にしても効果は同じである。

【0095】

したがって、振幅を小さくする条件は、第1グループでは、ダンパ・不均一質量体開き角 α_1 が $10 \sim 30$ 度、 100 度 ~ 120 度、 190 度 ~ 210 度、 280 度 ~ 300 度

10

20

30

40

50

のいずれかであり、ばね支持開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ が 70 ~ 110 度、160 ~ 200 度、250 ~ 290 度、340 ~ 380 度のいずれかである。なお、「340 ~ 380 度」は、「340 ~ 360 度および 0 ~ 20 度」と表現することもできる。

【0096】

また、第2グループでは、ダンパ・不均一質量体開き角 θ_1 が 40 ~ 90 度、130 ~ 180 度、220 ~ 270 度、310 ~ 360 度のいずれかであり、ばね支持開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ が 70 ~ 110 度、160 ~ 200 度、250 ~ 290 度、340 ~ 380 度のいずれかであり、ダンパ開き角 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ は、25 ~ 65 度、115 ~ 155 度、205 ~ 245 度、295 ~ 335 度、のいずれかである。

【0097】

ダンパ2個のケースで、振幅を抑制するために好ましい第1のばね支持111の角度座標位置(ばね・不均一質量体開き角) θ_1 の範囲は、ダンパ1個のケースの場合と同様に、30 ~ 60 度、120 ~ 150 度、210 ~ 240 度、300 ~ 330 度、のいずれかの範囲である。これは、図5に示すダンパ1個のケースの場合の類推からも言えるが、次のように説明できる。すなわち、図17および図18に示すダンパ2個のケースにおける共振曲線において、できるだけ2つのピークを持つ状態に変形させ、しかもできるだけ2つのピークの振動数を離すことが好ましい。そして、2つのピークの振動数が最も離れる条件が、 θ_1 が、45 度、135 度、225 度、315 度のいずれかであり、かつ、 θ が、90 度、180 度、270 度のいずれかの場合である。

【0098】

上記説明では、取り付け不均一質量体11を1個とし、ばね支持111、112の数を2個とし、フードダンパ301、302の数を1個または2個とした。しかし、これらの不均一質量体11、ばね支持111、112またはフードダンパ301、302それぞれを複数に分割して、基本となる位置のほかに、その基本となる位置から90度、180度または270度離れた位置にも取り付けられた場合、基本となる位置にまとめて一つを取り付けた場合と同じ制振効果を得ることができる。

【0099】

不均一質量体11を複数に分割する場合、基本となる角度座標位置を原点として、分割された他の不均一質量体の角度座標位置は、80 ~ 100 度、170 ~ 190 度、260 ~ 280 度とするのが好ましい。これらの角度座標の幅は、他の角度 θ_1 、 θ_2 、 θ_3 の規定幅よりも広くならないように規定した。

【0100】

不均一質量体11は、必ずしも制振のために特に取り付けられたものとは限らず、回転電機の固定子枠の外側に取り付けられた端子箱や冷却フィンなどによる周方向に不均一な質量の効果が含まれる。

【0101】

以上、本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれると同様に、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれるものである。

【符号の説明】

【0102】

- 10 ... 固定支持部材(固定子および固定子枠)
- 11 ... 不均一質量体
- 13 ... 抵抗要素
- 14 ... ダンパ質量体
- 50 ... 回転子
- 51 ... ギャップ

10

20

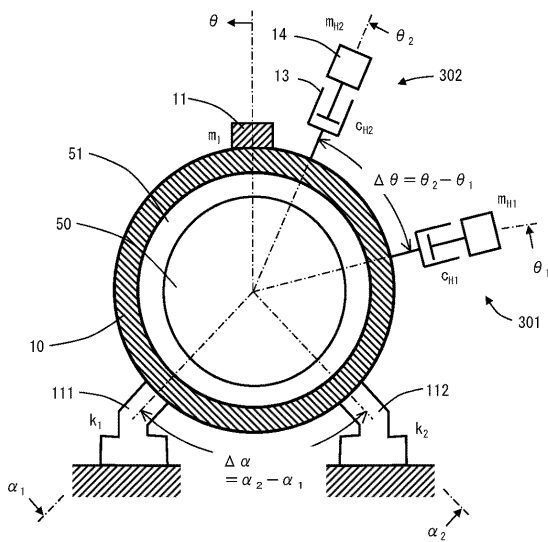
30

40

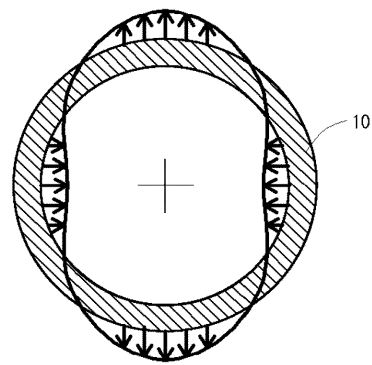
50

1 1 1、1 1 2 ...ばね支持（支持脚）
3 0 1、3 0 2 ...フールドアンパ

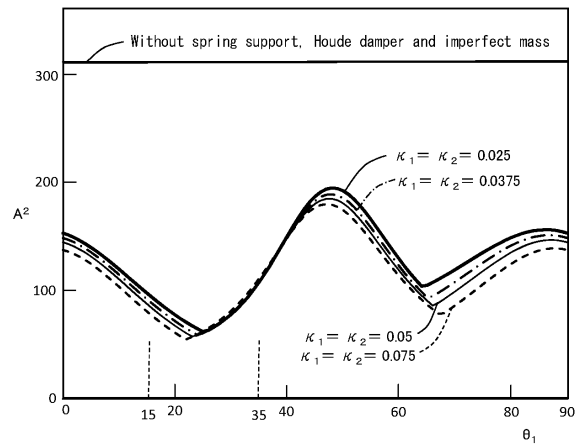
【図1】



【図2】

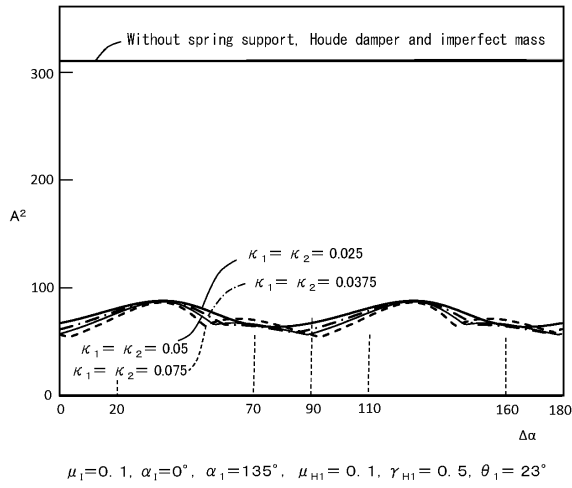


【図3】

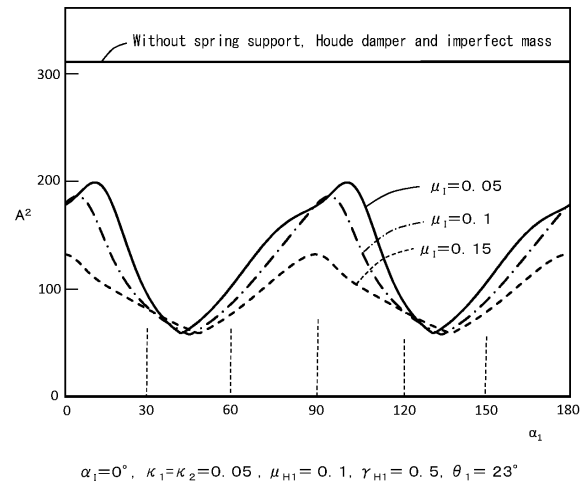


$\mu_1=0.1, \alpha_1=0^\circ, \alpha_2=225^\circ, \mu_{H1}=0.1, \gamma_{H1}=0.5$

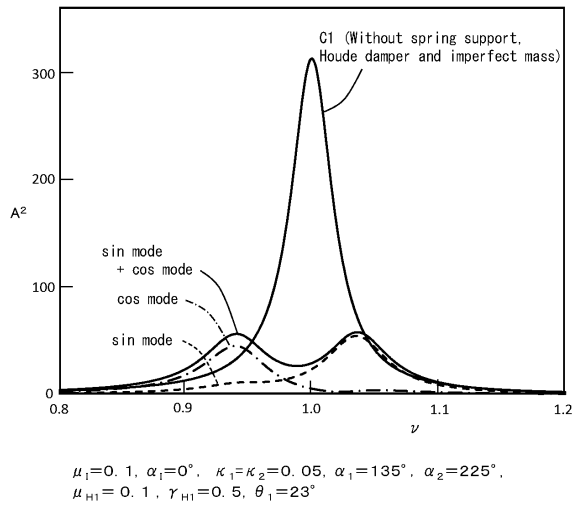
【 図 4 】



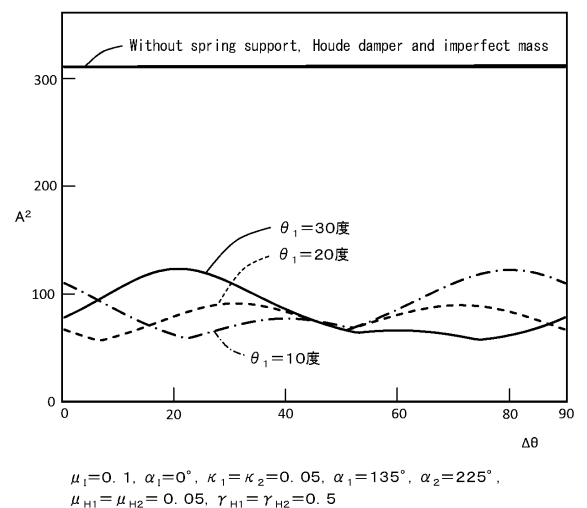
【 図 5 】



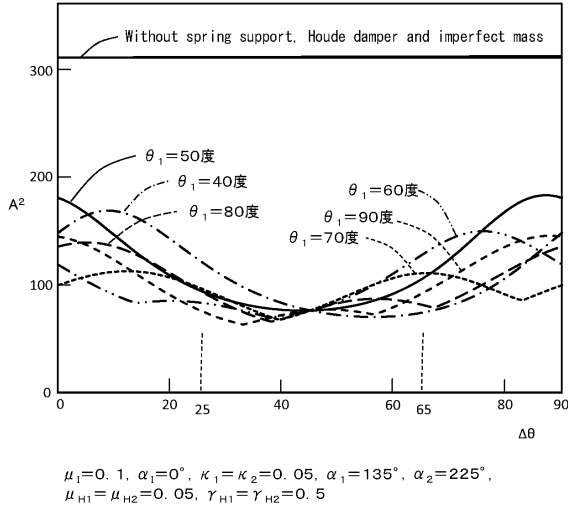
【 図 6 】



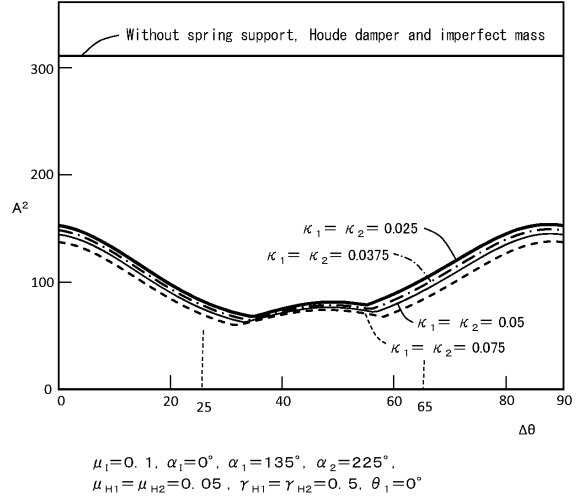
【 図 7 】



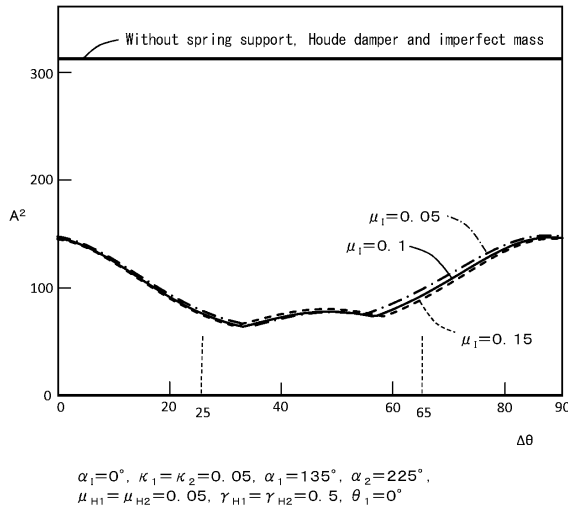
【 図 8 】



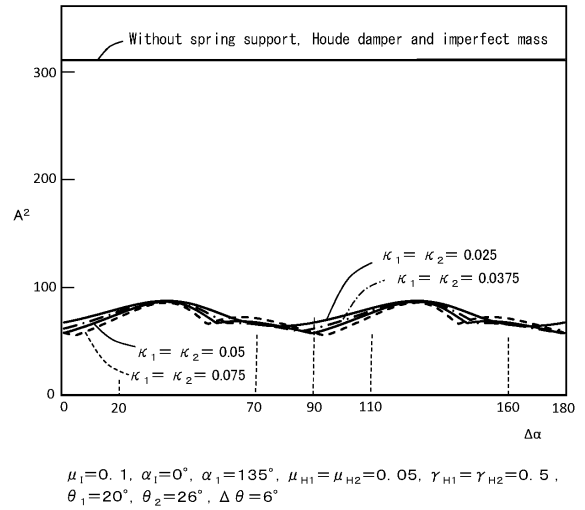
【 図 9 】



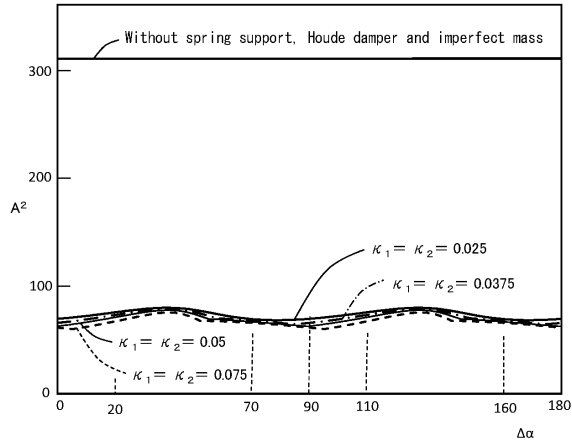
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】

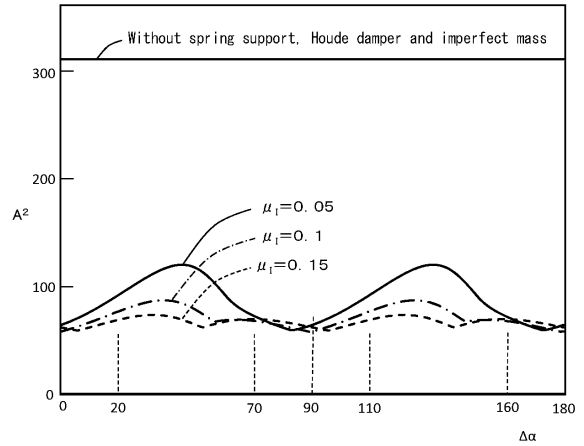


【 図 1 2 】



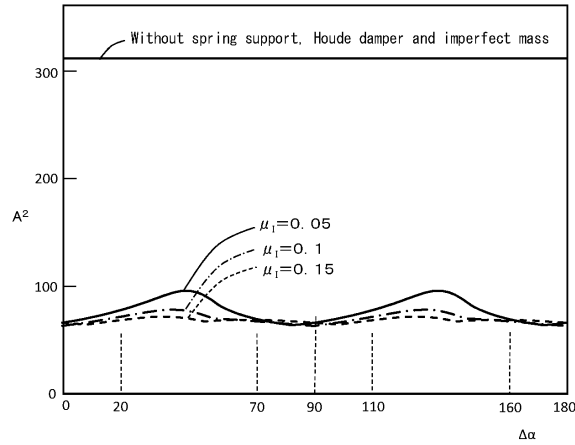
$\mu_1=0.1, \alpha_1=0^\circ, \alpha_2=135^\circ, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5,$
 $\theta_1=90^\circ, \theta_2=123^\circ, \Delta\theta=33^\circ$

【 図 1 3 】



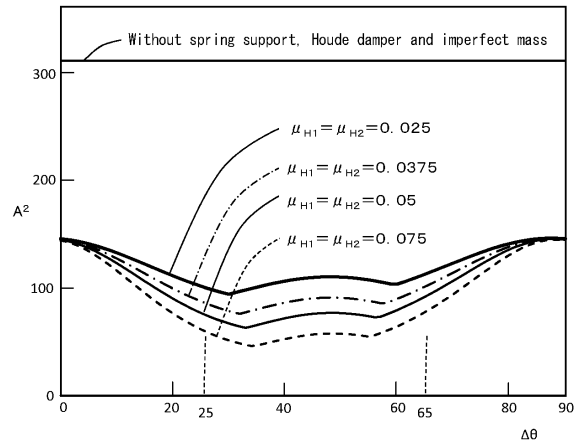
$\alpha_1=0^\circ, \alpha_2=135^\circ, \kappa_1 = \kappa_2 = 0.05,$
 $\mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5,$
 $\theta_1=20^\circ, \theta_2=26^\circ, \Delta\theta=6^\circ$

【 図 1 4 】



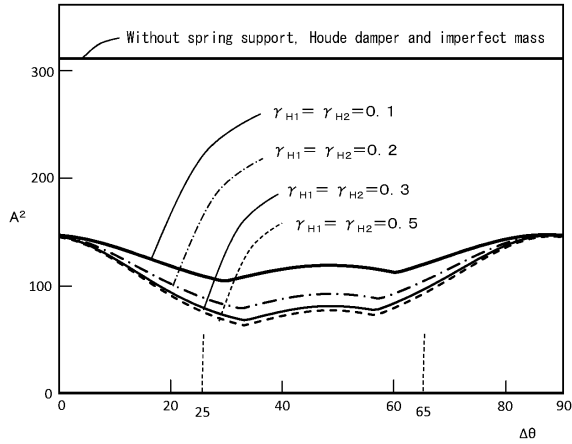
$\alpha_1=0^\circ, \alpha_2=135^\circ, \kappa_1 = \kappa_2 = 0.05,$
 $\mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5,$
 $\theta_1=90^\circ, \theta_2=123^\circ, \Delta\theta=33^\circ$

【 図 1 5 】



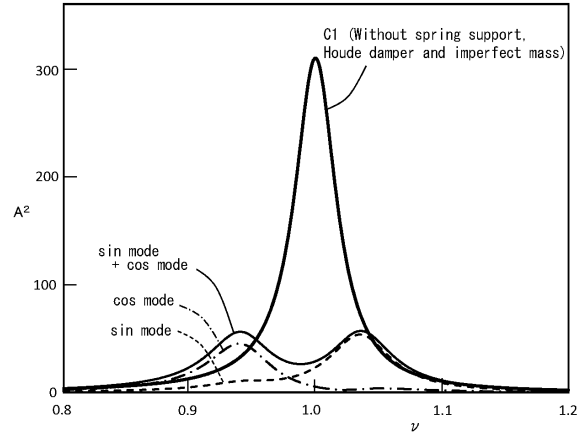
$\mu_1=0.1, \alpha_1=0^\circ, \kappa_1 = \kappa_2 = 0.05, \alpha_2=135^\circ, \alpha_3=225^\circ, \theta_1=90^\circ,$
 $\gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5$

【 16 】



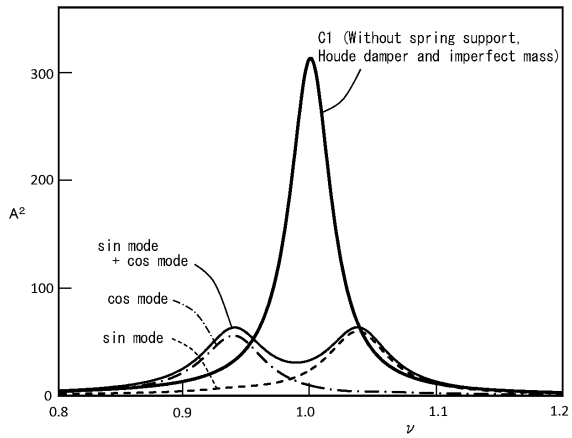
$\mu_1=0.1, \alpha_1=0^\circ, \kappa_1=\kappa_2=0.05, \alpha_1=135^\circ, \alpha_2=225^\circ, \theta_1=90^\circ,$
 $\mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05$

【 17 】



$\mu_1=0.1, \alpha_1=0^\circ, \kappa_1=\kappa_2=0.05, \alpha_1=135^\circ, \alpha_2=225^\circ,$
 $\theta_1=20^\circ, \theta_2=26^\circ, \Delta\theta=6^\circ, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5$

【 18 】



$\mu_1=0.1, \alpha_1=0^\circ, \kappa_1=\kappa_2=0.05, \alpha_1=135^\circ, \alpha_2=225^\circ,$
 $\theta_1=90^\circ, \theta_2=123^\circ, \Delta\theta=33^\circ, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5$

フロントページの続き

- (72)発明者 野崎 優
東京都中央区京橋三丁目1番1号 東芝三菱電機産業システム株式会社内
- (72)発明者 吉武 裕
長崎県長崎市文教町1番14号 国立大学法人長崎大学内
- (72)発明者 田川 夏湖
長崎県長崎市文教町1番14号 国立大学法人長崎大学内
- (72)発明者 茅原 晃希
長崎県長崎市文教町1番14号 国立大学法人長崎大学内

審査官 宮崎 賢司

- (56)参考文献 特開平07-154940(JP,A)
特開2014-057406(JP,A)
特開2000-046103(JP,A)
特開2001-128410(JP,A)
特開2010-242940(JP,A)
特開平07-264804(JP,A)
特開平05-030689(JP,A)
吉武裕、野崎優、片原田浩之、田川夏湖、山崎豪、原田晃、不均一性をもつ電動機固定子の動吸振器による制振、日本機械学会論文集、日本、一般社団法人日本機械学会、2014年12月10日、2015年81巻821号

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H02K 5/00
H02K 5/24