

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6613119号
(P6613119)

(45) 発行日 令和1年11月27日(2019.11.27)

(24) 登録日 令和1年11月8日(2019.11.8)

(51) Int. Cl. F 1
H02K 5/24 (2006.01) H02K 5/24 Z
F16F 15/14 (2006.01) F16F 15/14 A

請求項の数 6 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2015-231910 (P2015-231910)	(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27年11月27日(2015.11.27)	(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2017-99219 (P2017-99219A)	(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6月1日(2017.6.1)	(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29年12月8日(2017.12.8)	(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

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移動速度に応じて半径方向の抵抗力を生じ、変位に応じた復元力は生じない第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り、前記第1のフードダンパの角度座標位置を1とし、前記第2のフードダンパの角度座標位置を2とし、 $\theta_2 = \theta_1 - \alpha$ とするとき、

1が、50°～90°、140°～180°、230°～270°、320°～360°、のいずれかの範囲内のみであり、

2が、20°～60°、110°～150°、200°～240°、290°～330°、のいずれかの範囲内のみであり、

前記回転子の回転速度が可変に構成されていること、
 を特徴とする回転電機。

【請求項2】

10

20

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移動速度に応じて半径方向の抵抗力を生じ、変位に応じた復元力は生じない第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り、前記第1のフードダンパの角度座標位置を1とし、前記第2のフードダンパの角度座標位置を2とし、 $\theta_2 = \theta_1 - \alpha$ とするとき、

1が、 $35 \sim 45$ 度、 $125 \sim 135$ 度、 $215 \sim 225$ 度、 $305 \sim 315$ 度、のいずれかの範囲内のみであり、

2が、 $40 \sim 80$ 度、 $130 \sim 170$ 度、 $220 \sim 260$ 度、 $310 \sim 350$ 度、のいずれかの範囲内のみであり、

前記回転子の回転速度が可変に構成されていること、

を特徴とする回転電機。

【請求項3】

前記第1のフードダンパの質量比 μ_{H1} と前記第2のフードダンパの質量比 μ_{H2} との比 μ_{H1} / μ_{H2} が1以上であること、を特徴とする請求項1または請求項2に記載の回転電機。

【請求項4】

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移動速度に応じて半径方向の抵抗力を生じ、変位に応じた復元力は生じない第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るとき、前記第1および第2のフードダンパそれぞれの角度座標位置が、 $10 \sim 30$ 度、 $100 \sim 120$ 度、 $190 \sim 210$ 度、 $280 \sim 300$ 度、の範囲内のみであり、

前記回転子の回転速度が可変に構成されていること、

を特徴とする回転電機。

【請求項5】

前記第1および第2のフードダンパの角度座標位置の相違が、 $10 \sim 80$ 度、 $100 \sim 170$ 度、 $190 \sim 260$ 度、 $280 \sim 350$ 度のいずれかの範囲にあること、を特徴とする請求項4に記載の回転電機。

【請求項6】

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度のほか、 $80 \sim 100$ 度、 $170 \sim 190$ 度、 $260 \sim 280$ 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5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、回転電機の制振技術に関し、特に、フードダンパを用いた制振技術に関する。

【背景技術】

【0002】

10

20

30

40

50

電動機や発電機などの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と、固定子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、固定子と回転子の間に作用している電磁力振動数が固定子の固有振動数と一致する場合に共振が発生し、固定子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、固定子枠の外側に回転電機の固有振動数を変更するための質量体を取り付ける技術が知られている（特許文献1、非特許文献1）。

【0004】

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2）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開平7-154940号公報

【特許文献2】特開2000-46103号公報

【非特許文献】

【0006】

【非特許文献1】吉武裕，野崎優，片原田浩之，田川夏湖，山崎豪，原田晃，不均一性を持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，Vol. 81，No. 821，2015（2015），14-00386

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1には、回転電機の固有振動数の変更を行うために質量体を取り付ける技術が開示されているが、具体的にどの位置に質量体を取り付けると振動抑制に効果があるのかについては記載がない。また、特許文献1または非特許文献1に記載された技術では、振動減衰効果が十分に得られないこともありうる。特に、特許文献1または非特許文献1に記載された技術では、一定の定格回転数で運転する場合における共振を避ける技術として用いることはできても、インバータを用いた電動機などの、回転数を変化させて用いる回転電機において、共振を避けることはできない。

【0008】

また、特許文献2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。

【0009】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであって、フードダンパを用いて、回転電機の回転数が変化する場合であっても、大きな制振効果を発揮できるようにすることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

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移動速度に応じて半径方向の抵抗力を生じ、変位に応じた復元力は生じない第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り、前記第1のフードダンパの角度座標位置を θ_1 とし、前記第2のフードダンパの角度座標位置を θ_2 とし、 $\theta_2 = \theta_1 - \alpha$ とするとき、 α が、 $50 \sim 90$ 度、 $140 \sim 180$ 度、 $230 \sim 270$ 度、 $320 \sim 360$ 度、のいずれ

10

20

30

40

50

かの範囲内のみであり、 θ_1 が、 $20 \sim 60$ 度、 $110 \sim 150$ 度、 $200 \sim 240$ 度、 $290 \sim 330$ 度、のいずれかの範囲内のみであり、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。

【0011】

本発明に係る回転電機の他の一つの態様は、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移動速度に応じて半径方向の抵抗力を生じ、変位に応じた復元力は生じない第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り、前記第1のフードダンパの角度座標位置を θ_1 とし、前記第2のフードダンパの角度座標位置を θ_2 とし、 $\theta_2 = 2 - \theta_1$ とするとき、 θ_1 が、 $35 \sim 45$ 度、 $125 \sim 135$ 度、 $215 \sim 225$ 度、 $305 \sim 315$ 度、のいずれかの範囲内のみであり、 θ_2 が、 $40 \sim 80$ 度、 $130 \sim 170$ 度、 $220 \sim 260$ 度、 $310 \sim 350$ 度、のいずれかの範囲内のみであり、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。

【0012】

本発明に係る回転電機のさらに他の一つの態様は、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移動速度に応じて半径方向の抵抗力を生じ、変位に応じた復元力は生じない第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るとき、前記第1および第2のフードダンパそれぞれの角度座標位置が、 $10 \sim 30$ 度、 $100 \sim 120$ 度、 $190 \sim 210$ 度、 $280 \sim 300$ 度、の範囲内のみであり、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。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、回転電機の回転数が変化する場合であっても、大きな制振効果を発揮することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【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、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 とダンパ開き角 θ_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が $10 \sim 30$ 度の場合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で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 とダンパ開き角 θ_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が $40 \sim 90$ 度(0度)の場合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って、不均一質量体・ダンパ開き角 $\theta_1 = 30$ 度、ダンパ開き角 $\theta_2 = 50$ 度の場合を示すグラフである。

【図6】本発明の実施形態に係る回転電機において、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って、不均一質量体・ダンパ開き角 $\theta_1 = 70$ 度、ダンパ開き角 $\theta_2 = 41$ 度の場合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、不均一質量体の質量比 μ_1 の値とダンパ開

10

20

30

40

50

き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 70 度の場合を示すグラフである。

【図 8】本発明の実施形態に係る回転電機で、フードダンパの質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ の値とダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 70 度の場合を示すグラフである。

【図 9】本発明の実施形態に係る回転電機で、フードダンパの減衰比 $H_{11} = H_{12}$ の値とダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 70 度の場合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で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの減衰比の比 H_{11} / H_{12} が 2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 10 ~ 30 度の場合を示すグラフである。

10

【図 11】本発明の実施形態に係る回転電機で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの減衰比の比 H_{11} / H_{12} が 2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 40 ~ 90 度 (0 度) の場合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で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの減衰比の比 H_{11} / H_{12} が 1/2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 10 ~ 30 度の場合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で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの減衰比の比 H_{11} / H_{12} が 1/2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 40 ~ 90 度 (0 度) の場合を示すグラフである。

20

【図 14】本発明の実施形態に係る回転電機で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの質量比の比 μ_{H1} / μ_{H2} が 2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 10 ~ 30 度の場合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で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの質量比の比 μ_{H1} / μ_{H2} が 2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 40 ~ 90 度 (0 度) の場合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で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの質量比の比 μ_{H1} / μ_{H2} が 1/2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 0 ~ 30 度、80 ~ 90 度 (0 度) の場合を示すグラフである。

30

【図 17】本発明の実施形態に係る回転電機で、ダンパ開き角 θ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2 個のフードダンパの質量比の比 μ_{H1} / μ_{H2} が 1/2 の場合で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が 40 ~ 70 度の場合を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0015】

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。

【0016】

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。

【0017】

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。

40

【0018】

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。

50

【 0 0 1 9 】

固定支持部材 1 0 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 1 0 内側に、固定支持部材 1 0 の軸と共通の軸の周りに回転する回転子 5 0 が配置されている。固定支持部材 1 0 と回転子 5 0 の間にはギャップ 5 1 が形成されている。

【 0 0 2 0 】

固定支持部材 1 0 の外側に、円周方向の角度 $\theta = \theta_p$ ($p = 1, \dots, P$) の位置に P 個の不均一質量体 1 1 (質量: m_{1p}) を設置し、また、円周方向の角度 $\theta = \theta_j$ ($j = 1, \dots, N$) の位置に N 個のフードダンパ (H o u d e D a m p e r) 3 0 を設置する。図 1 に示す例では、不均一質量体 1 1 の個数を $P = 1$ とし、フードダンパ 3 0 の個数を $N = 2$ としている。また、図 1 の矢印 A に示す回転子 5 0 の回転方向に角度位置座標を取るものとする。また、不均一質量体 1 1 の角度位置座標の原点として $\theta_1 = 0$ 度とする。

10

【 0 0 2 1 】

フードダンパ 3 0 は、一般に、抵抗要素 1 3 (減衰係数: c_{Hj}) と、その先に取り付けられたダンパ質量体 1 4 (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 1 0 は円環振動をすることを想定しているので、ダンパ質量体 1 4 は少なくとも半径方向に移動可能なものとする。ただし、フードダンパ 3 0 の構造は、図 1 に示すような構造に限定されるものではなく、たとえば、特許文献 2 に開示されたような閉鎖容器内で移動可能な粉粒体や粘性流体を用いたものであってもよい。

【 0 0 2 2 】

固定支持部材 1 0 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) で表される。

20

【 0 0 2 3 】

【数 1】

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

【 0 0 2 4 】

ここに、

θ : 円周方向の座標 (r a d) (反時計回りが正)

i : 円周方向の振動モードを表す整数

a_i : $\theta = 0$ に腹をもつ c o s 型のモード i の変位

b_i : $\theta = \pi / (2 i)$ に腹をもつ s i n 型のモード i の変位

【 0 0 2 5 】

電動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。

【 0 0 2 6 】

【数 2】

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

40

【 0 0 2 7 】

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

【 0 0 2 8 】

50

実際の電磁力は多くの振動数成分を含むが、簡単のため $F_s \cos(-s t + s)$ の成分のみが作用する場合を考える。また、不均一質量はそれほど大きくないとして、慣性力として取り扱うこととし、固定子に粘性減衰力も作用するとし、 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。

【0029】

【数3】

$$\begin{aligned} & \left(1 + \frac{1}{i^2}\right) \pi r \rho A \ddot{a}_i + c_{0i} \dot{a}_i + (1 - i^2)^2 EI \frac{\pi}{r^3} a_i \\ & + \sum_{p=1}^P m_{Ip} \cos i \alpha_p (\ddot{a}_i \cos i \alpha_p + \ddot{b}_i \sin i \alpha_p) \\ & + \sum_{j=1}^N c_{Hj} \cos i \theta_j (\dot{a}_i \cos i \theta_j + \dot{b}_i \sin i \theta_j - \dot{x}_j) \\ & = \pi F_i \cos \Omega_i t \end{aligned} \quad (3) \quad 10$$

【0030】

【数4】

$$\begin{aligned} & \left(1 + \frac{1}{i^2}\right) \pi r \rho A \ddot{b}_i + c_{0i} \dot{b}_i + (1 - i^2)^2 EI \frac{\pi}{r^3} b_i \\ & + \sum_{p=1}^P m_{Ip} \sin i \alpha_p (\ddot{a}_i \cos i \alpha_p + \ddot{b}_i \sin i \alpha_p) \\ & + \sum_{j=1}^N c_{Hj} \sin i \theta_j (\dot{a}_i \cos i \theta_j + \dot{b}_i \sin i \theta_j - \dot{x}_j) \\ & = \pi F_i \sin \Omega_i t \end{aligned} \quad (4) \quad 20$$

【0031】

【数5】

$$m_{Hj} \ddot{x}_j + c_{Hj} \left\{ \dot{x}_j - (\dot{a}_i \cos i \theta_j + \dot{b}_i \sin i \theta_j) \right\} = 0 \quad (5) \quad 30$$

【0032】

ここに

r : 固定支持部材の円環の半径

E : 固定支持部材の縦弾性係数

A : 固定支持部材の断面積 (長方形断面の場合は円環の厚さ H と軸方向長さ L との積) 40

I : 固定支持部材の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 $L H^3 / 12$)

ρ : 固定支持部材の密度

c_{0i} : 主系の粘性減衰係数 ($i = 1, \dots, M$)

x_j : j に設置したフードダンパの変位 ($j = 1, \dots, N$)

c_{Hj} : j に設置したフードダンパの粘性減衰係数 ($c_{Hj} = 2 H_j m_{Hj}$)

ω_{0i}

ω_{0i} : i 次モードの固有角振動数

m_{Hj} : j に設置したフードダンパの質量

m_{Ip} : p に設置した不均一質量体の質量 50

P : 不均一質量体の個数

N : フードダンパの個数

【0033】

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。

$$a_2 = A_1 \cos 2t + B_1 \sin 2t \quad (6)$$

$$b_2 = A_2 \cos 2t + B_2 \sin 2t \quad (7)$$

$$x_1 = A_3 \cos 2t + B_3 \sin 2t \quad (8)$$

$$x_2 = A_4 \cos 2t + B_4 \sin 2t \quad (9)$$

10

【0034】

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。式(3)、(4)ではそれらを除外して考える。

【0035】

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っ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。

【0036】

20

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。よって、以下、 $i = s = 2$ の場合について検討を進める。したがって、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。

【0037】

[数値解析結果]

ここでは、不均一質量体11が角度座標位置 $\theta_1 = 0$ 度の位置に1個だけあり ($P = 1$)、第1および第2のフードダンパ30がそれぞれ、角度座標位置 θ_1 、 θ_2 の位置にある場合 ($N = 2$) の固定支持部材10の円環振動の状況を数値解析した結果について図3~図17を参照して説明する。ここで、第1のフードダンパ30の角度座標位置 θ_1 は、不均一質量体11と第1のフードダンパ30の間の開き角であり、以下の説明において、不均一質量体・ダンパ開き角と呼ぶ。また、二つのフードダンパ30の間の開き角 $\theta_2 - \theta_1$ をダンパ開き角と呼ぶ。

30

【0038】

固定支持部材10の $i = 2$ のモード質量を m とし、不均一質量体11の質量比 m_{I1} / m を μ_I とする。固定支持部材10の $i = 2$ のモード質量 m は、 $m = (5/4) r A$ で表わされる。また、第 j ($j = 1, 2$) のフードダンパ30のフードダンパ質量比 m_{Hj} / m を μ_{Hj} とし、フードダンパ減衰比 $C_{Hj} / (2m_{Hj} \omega_2)$ を η_{Hj} とする。ただし、 $\omega_2^2 = 36EI / (5Ar^4)$ とする。

40

【0039】

なお、比較のために、不均一質量体11もフードダンパ30も全くない場合の計算結果 (Without imperfect mass and Houde damper) についても、図3~図17中に表示する。

【0040】

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。

【0041】

なお、図3~図17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

50

次元化したもので定義している。

【 0 0 4 2 】

【 数 6 】

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

【 0 0 4 3 】

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

【 0 0 4 4 】

また、図5および図6に示す共振曲線の横軸は、 $\omega = \omega_2 / \omega_{02}$ として電磁力の角振動数を2次モードの固有角振動数で無次元化している。したがって、図5および図6の横軸の $\omega = 1$ 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。さらに、図3、4、7～17の縦軸の無次元振幅の値として、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。

【 0 0 4 5 】

(2個のフードダンパの質量比、減衰比がそれぞれ等しい場合)

はじめに、図3～図9を参照して、2個のフードダンパ30の質量比、減衰比がそれぞれ等しい場合、すなわち、 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ 、 $\gamma_{H1} = \gamma_{H2}$ の場合の解析結果について説明する。

【 0 0 4 6 】

図3は、本発明の実施形態に係る回転電機で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 とダンパ開き角 $\theta_2 = \theta_1$ とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が10～30度の場合を示すグラフである。図4は、本発明の実施形態に係る回転電機で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 とダンパ開き角 θ_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が40～90度(0度)の場合を示すグラフである。図3および図4においては、不均一質量体11の質量比 $\mu_I = 0.1$ 、フードダンパ30の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ30の減衰比 $\gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5$ とする。ダンパ開き角 θ_1 は0～90度の範囲で種々に変えて解析した。

【 0 0 4 7 】

図3および図4のいずれにおいても、不均一質量体11およびフードダンパ30のいずれもない場合に比べて、不均一質量体11および2個のフードダンパ30がある場合は無次元振幅 A^2 が著しく低下することがわかる。

【 0 0 4 8 】

また、図3に示す不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が10～30度の場合は、無次元振幅 A^2 は、ダンパ開き角 θ_2 への依存性が低い。これに対して、図4に示す不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が50～90度の場合は、無次元振幅 A^2 は、ダンパ開き角 θ_2 に依存し、ダンパ開き角 θ_2 が20～60度の範囲で最小値を取ることがわかる。

【 0 0 4 9 】

図4で、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が40度の場合は、ダンパ開き角 θ_2 が40～80度の範囲で最小値を取る。なお、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が30度(図3)の場合および50度(図4)の場合との対比から、不均一質量体・ダンパ開き角 θ_1 が35～45度の範囲内であれば、ダンパ開き角 θ_2 が40～80度の範囲で最小値を取ると推定できる。

【 0 0 5 0 】

図5は、本発明の実施形態に係る回転電機において、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って、不均一質量体・ダンパ開き角 $\theta_1 = 30$ 度、ダンパ開き角 $\theta_2 = 50$ 度の場合を示すグラフである。図6は、本発明の実施形態に係る回転電機において、無次元振動数を横軸にとって無次元振幅を縦軸にとつ

10

20

30

40

50

た共振曲線の例を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 $\gamma_1 = 70$ 度、ダンパ開き角 $\gamma_2 = 41$ 度の場合を示すグラフである。図 5 および図 6 は、それぞれ、図 3 および図 4 に示す解析の条件範囲において、振幅が比較的小さい場合に相当する。

【 0 0 5 1 】

図 5 および図 6 では、図 3 および図 4 の場合と同様に、不均一質量体 11 の質量比 $\mu_I = 0.1$ 、フードダンパ 30 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ 、フードダンパ 30 の減衰比 $\eta_{H1} = \eta_{H2} = 0.5$ とする。

【 0 0 5 2 】

図 5 および図 6 の解析結果によれば、いずれも、サインモードとコサインモードのピークを取る無次元振動数が互いにずれており、サインモードとコサインモードの和としての無次元振幅の最大値は不均一質量体 11 もフードダンパ 30 もない場合に比べて大幅に低下している。

10

【 0 0 5 3 】

図 7 は、本発明の実施形態に係る回転電機で、不均一質量体 11 の質量比 μ_I の値とダンパ開き角 γ_1 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 γ_1 が 70 度の場合を示すグラフである。フードダンパ 30 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ とし、フードダンパ 30 の減衰比 $\eta_{H1} = \eta_{H2} = 0.5$ とする。不均一質量体 11 の質量比 μ_I の値を、0.05, 0.1, 0.15 の 3 通りに変え、ダンパ開き角 γ_2 は 0 ~ 90 度の範囲で種々に変えて解析した。

【 0 0 5 4 】

図 7 の解析結果から、前述の図 4 の不均一質量体・ダンパ開き角 γ_1 が 50 ~ 90 度の場合におけるダンパ開き角 γ_2 の最適範囲が、不均一質量体 11 の質量比 μ_I の値にかかわらず 20 ~ 60 度であることがわかる。

20

【 0 0 5 5 】

図 8 は、本発明の実施形態に係る回転電機で、フードダンパ 30 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ の値とダンパ開き角 γ_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 γ_1 が 70 度の場合を示すグラフである。不均一質量体 11 の質量比 μ_I を 0.1 とし、フードダンパ 30 の減衰比 $\eta_{H1} = \eta_{H2} = 0.5$ とする。フードダンパ 30 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ の値を、0.025, 0.0375, 0.05, 0.075 の 4 通りに変え、ダンパ開き角 γ_1 は 0 ~ 90 度の範囲で種々に変えて解析した。

30

【 0 0 5 6 】

図 8 の解析結果から、前述の図 4 の不均一質量体・ダンパ開き角 γ_1 が 50 ~ 90 度の場合におけるダンパ開き角 γ_2 の最適範囲が、フードダンパ 30 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ の値にかかわらず 20 ~ 60 度であることがわかる。

【 0 0 5 7 】

図 9 は、本発明の実施形態に係る回転電機で、フードダンパ 30 の減衰比 $\eta_{H1} = \eta_{H2}$ の値とダンパ開き角 γ_2 とが振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、不均一質量体・ダンパ開き角 γ_1 が 70 度の場合を示すグラフである。不均一質量体 11 の質量比 μ_I を、0.1 とし、フードダンパ 30 の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ を 0.05 とし、フードダンパ 30 の減衰比 $\eta_{H1} = \eta_{H2}$ の値を、0.1, 0.2, 0.3, 0.5 の 4 通りに変え、ダンパ開き角 γ_1 は 0 ~ 90 度の範囲で種々に変えて解析した。

40

【 0 0 5 8 】

図 9 の解析結果から、前述の図 4 の不均一質量体・ダンパ開き角 γ_1 が 50 ~ 90 度の場合におけるダンパ開き角 γ_2 の最適範囲が、フードダンパ 30 の減衰比 $\eta_{H1} = \eta_{H2}$ の値にかかわらず 20 ~ 60 度であることがわかる。

【 0 0 5 9 】

(2 個のフードダンパ 30 の質量比または減衰比が相違する場合)

上記解析結果では、2 個のフードダンパ 30 の質量比、減衰比がそれぞれ等しい、すなわち、 $\mu_{H1} = \mu_{H2}$ 、 $\eta_{H1} = \eta_{H2}$ とした。ここでは、2 個のフードダンパ 30 の質量比または減衰比が相違する場合の解析結果について、図 10 ~ 図 17 を参照して、説明

50

する。

【0060】

図10～図13は、本発明の実施形態に係る回転電機で、ダンパ開き角 δ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2個のフールドダンパ30の減衰比 H_1 、 H_2 が互いに異なる場合を示すグラフである。図10～図13で、不均一質量体11の質量比 $\mu_I = 0.1$ 、フールドダンパ30の質量比 $\mu_{H1} = \mu_{H2} = 0.05$ とする。これらの解析条件は図3および図4の場合と同様である。

【0061】

図10および図11では、第1のフールドダンパ30の減衰比 $H_1 = 0.5$ 、第2のフールドダンパ30の減衰比 $H_2 = 0.25$ (減衰比の比 $H_1 / H_2 = 2$) とする。図10は、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が、10～30度の場合を示している。これは、ダンパ開き角 δ が振幅に及ぼす影響が比較的小さい場合である。

10

【0062】

図11は、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が、40度～90度(0度)の場合を示している。この範囲では、振幅がダンパ開き角 δ に依存する。その範囲のうち、 $\delta_1 = 40$ 度の場合を除いて、すなわち、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が50度～90度(0度)の範囲で、ダンパ開き角 δ が20～60度において振幅が最小となる。これは、図4、図7～図9に示した傾向と同様である。

【0063】

また、図11で、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が40度の場合は、ダンパ開き角 δ が40～80度において振幅が最小となる。これは、図4に示した傾向と同様である。

20

【0064】

図12および図13では、第1のフールドダンパ30の減衰比 $H_1 = 0.25$ 、第2のフールドダンパ30の減衰比 $H_2 = 0.5$ (減衰比の比 $H_1 / H_2 = 1/2$) とする。

【0065】

図12は、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が10～30度の場合を示している。これは、ダンパ開き角 δ が振幅に及ぼす影響が比較的小さい場合である。

【0066】

図13は、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が40度～90度(0度)の場合を示している。この範囲では、振幅がダンパ開き角 δ に依存する。その範囲のうち、 $\delta_1 = 40$ 度の場合を除いて、すなわち、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が50度～90度(0度)の場合、ダンパ開き角 δ が20～60度において振幅が最小となる。これは、図4、図7～図9、図11に示した傾向と同様である。

30

【0067】

また、図13で、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が40度の場合は、ダンパ開き角 δ が40～80度において振幅が最小となる。これは、図4に示した傾向と同様である。

【0068】

図14～図17は、本発明の実施形態に係る回転電機で、ダンパ開き角 δ が振幅に及ぼす影響を示すグラフであって、2個のフールドダンパ30の質量比 μ_{H1} 、 μ_{H2} が互いに異なる場合を示すグラフである。図14～図17で、不均一質量体11の質量比 $\mu_I = 0.1$ 、フールドダンパ30の減衰比 $H_1 = H_2 = 0.5$ とする。これらの解析条件は図3および図4の場合と同様である。

40

【0069】

図14および図15では、第1のフールドダンパ30の質量比 $\mu_{H1} = 0.07$ 、第2のフールドダンパ30の質量比 $\mu_{H2} = 0.035$ (質量比の比 $\mu_{H1} / \mu_{H2} = 2$) とする。

【0070】

図14は、不均一質量体・ダンパ開き角 δ_1 が10～30度の場合を示している。これは、ダンパ開き角 δ が振幅に及ぼす影響が比較的小さい場合である。

50

【 0 0 7 1 】

図 1 5 は、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が 4 0 度 ~ 9 0 度 (0 度) の場合を示している。この範囲では、振幅がダンパ開き角 α_1 に依存する。その範囲のうち、 $\alpha_1 = 4 0$ 度の場合を除いて、すなわち、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が 5 0 度 ~ 9 0 度 (0 度) の場合、ダンパ開き角 α_1 が 2 0 ~ 6 0 度において振幅が最小となる。これは、図 4、図 7 ~ 図 9、図 1 1、図 1 3 に示した傾向と同様である。

【 0 0 7 2 】

また、図 1 5 で、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が 4 0 度の場合は、ダンパ開き角 α_1 が 4 0 ~ 8 0 度において振幅が最小となる。これは、図 4 に示した傾向と同様である。

【 0 0 7 3 】

図 1 6 および図 1 7 では、第 1 のフードダンパ 3 0 の質量比 $\mu_{H1} = 0.035$ 、第 2 のフードダンパ 3 0 の質量比 $\mu_{H2} = 0.07$ (質量比の比 $\mu_{H1} / \mu_{H2} = 1 / 2$) とする。

【 0 0 7 4 】

図 1 6 は、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が、1 0 ~ 3 0 度、8 0 ~ 9 0 度 (0 度) の場合を示している。これは、ダンパ開き角 α_1 が振幅に及ぼす影響が比較的小さい場合である。

【 0 0 7 5 】

図 1 7 は、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が、4 0 度 ~ 7 0 度の場合を示している。この範囲では、振幅がダンパ開き角 α_1 に依存する。その範囲のうち、 $\alpha_1 = 4 0$ 度の場合を除いて、すなわち、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が 5 0 度 ~ 7 0 度の場合、ダンパ開き角 α_1 が 2 0 ~ 6 0 度において振幅が最小となる。これは、図 4、図 7 ~ 図 9、図 1 1、図 1 3、図 1 5 に示した傾向と同様である。ただし、図 1 6 に示すように、質量比の比 $\mu_{H1} / \mu_{H2} = 1 / 2$ の場合は、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が 8 0 ~ 9 0 度 (0 度) の場合には、ダンパ開き角 α_1 が 2 0 ~ 6 0 度において振幅が最小値を取る傾向が強い。

【 0 0 7 6 】

また、図 1 7 で、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 が 4 0 度の場合は、ダンパ開き角 α_1 が 4 0 ~ 8 0 度において振幅が最小となる。これは、図 4 に示した傾向と同様である。

【 0 0 7 7 】

以上示した解析結果から、1 個の不均一質量体 1 1 と 2 個のフードダンパ 3 0 を設置する場合に、不均一質量体・ダンパ開き角 α_1 を 5 0 ~ 9 0 度の範囲内とし、ダンパ開き角 α_1 を 2 0 ~ 6 0 度の範囲内とすることにより、振幅が低く抑えられることがわかる。2 個のフードダンパ 3 0 の質量比が異なる場合は、質量比の比 μ_{H1} / μ_{H2} が 1 以上であるときに、振幅抑制の効果が大きい。

【 0 0 7 8 】

また、第 1 および第 2 のフードダンパ 3 0 のうちの少なくとも一方の角度座標位置が、1 0 ~ 3 0 度範囲にある場合は、ダンパ開き角 α_1 の如何によらず振幅抑制の効果が大きい。

【 0 0 7 9 】

また、これらの場合に、単に共振点の振動数がずれるのではなくて、最大振幅が小さくなるので、特にインバータ駆動の電動機などの可変速運転を行う回転電機に有効である。

【 0 0 8 0 】

前述のように、ここでは $i = s = 2$ の場合について検討した。すなわち、周方向の各角度位置の各現象は、その角度から 1 8 0 度ずれた位置で、各時刻の変位、速度、加速度などが同じであり、また、その角度から 9 0 度または 2 7 0 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。

【 0 0 8 1 】

したがって、たとえば、上記説明で、角度座標位置 $\alpha_1 = 0$ 度の位置に配置されるとした 1 個の不均一質量体 1 1 を、0 度、9 0 度、1 8 0 度、2 7 0 度のいずれかの位置に配

10

20

30

40

50

置変更あるいは分割配置しても、同じ制振効果が得られる。

【0082】

また、第1のフードダンパ30の角度座標位置 θ_1 を50～90度の範囲内とすることは、 θ_1 を、140～180度、230～270度、320～360度、のいずれかの範囲内とすることと制振効果として同等である。同様に、 θ_1 を35～45度とすることは、 θ_1 を、125～135度、215～225度、305～315度、のいずれかの範囲内とすることと同等である。同様に、 θ_1 を10～30度の範囲内とすることは、 θ_1 を、100～120度、190～210度、280～300度、のいずれかの範囲内とすることと同等である。

【0083】

同様に、ダンパ開き角 α を20～60度の範囲内とすることは、 α を、110～150度、200～240度、290～330度、のいずれかの範囲内とすることと同等である。同様に、 α を40～80度とすることは、 α を、130～170度、220～260度、310～350度、のいずれかの範囲内とすることと同等である。同様に、 α を10～80度の範囲内とすることは、 α を、100～170度、190～260度、280～350度、のいずれかの範囲内とすることと同等である。

【0084】

なお、1個の不均一質量体11の角度座標位置を0度とするとき、上記分割された他の不均一質量体11の角度座標位置は、90度、180度、270度の前後10度程度相違しても同様の制振効果が予想される。この角度座標位置の幅は、フードダンパ30の角度座標位置の許容範囲幅からの類推である。したがって、上記分割された他の不均一質量体11の角度座標位置は、80～100度、170～190度、260～280度の範囲であることが好ましい。

【0085】

以上説明した数値解析において、不均一質量体11の質量比 μ_I は、大きいほど制振効果があることは明らかであるが、数値計算で求めた結果の精度がある程度高い精度で保障される範囲として質量比 μ_I を0.05～0.15とした。質量比 μ_I を0.15よりも大きくしても制振効果が得られることは言うまでもない。

【0086】

フードダンパ30の質量比 μ_{Hj} ($j = 1, 2$)についても、これらが大きいほど制振効果が大きいことは明らかである。

【0087】

フードダンパ30の減衰比 η_j については、通常の振動系では、 $\eta_j = 1 / [2(2 + \mu_{Hj})(1 + \mu_{Hj})]$ が最適であることが知られている。たとえば、フードダンパ30の質量比 $\mu_{Hj} = 0.05$ のとき、減衰比 $\eta_j = 0.482$ が最適であり、質量比 $\mu_{Hj} = 0.025$ のとき、減衰比 $\eta_j = 0.491$ が最適である。質量比 μ_{Hj} が小さければ、減衰比 η_j が約0.5の場合が最適となる。そのため、上記数値解析の条件としては、 $\eta_j = 0.5$ の場合を標準とした。

【0088】

上記説明において、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が含まれる。

【0089】

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】

10

20

30

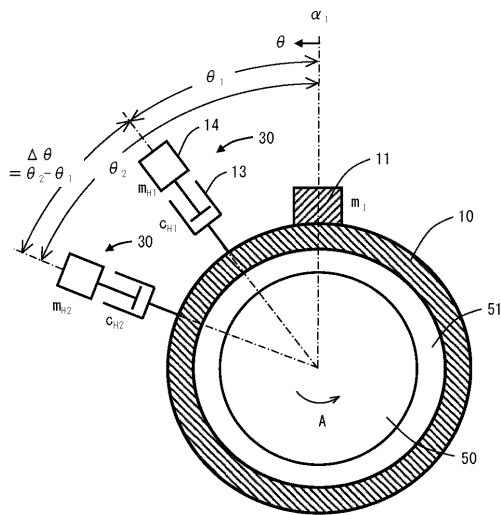
40

50

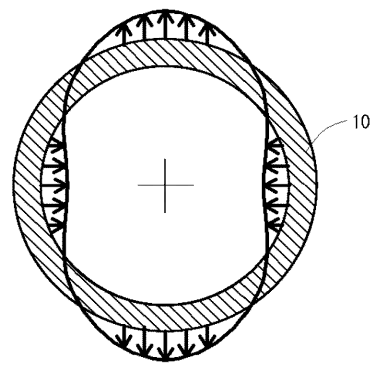
【 0 0 9 0 】

- 1 0 ... 固定支持部材 (固定子および固定子枠)
- 1 1 ... 不均一質量体
- 1 3 ... 抵抗要素
- 1 4 ... ダンパ質量体
- 3 0 ... フードダンパ
- 5 0 ... 回転子
- 5 1 ... ギャップ

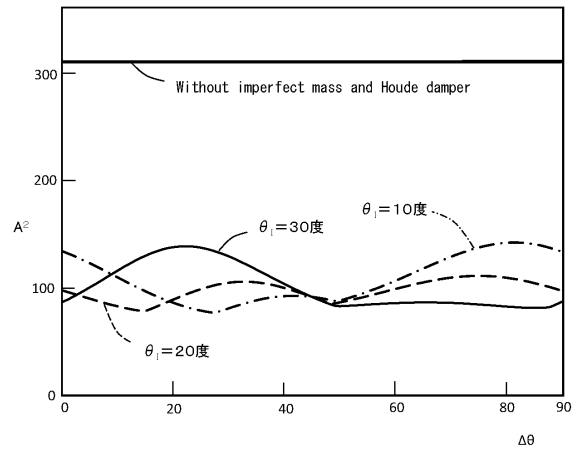
【 図 1 】



【 図 2 】

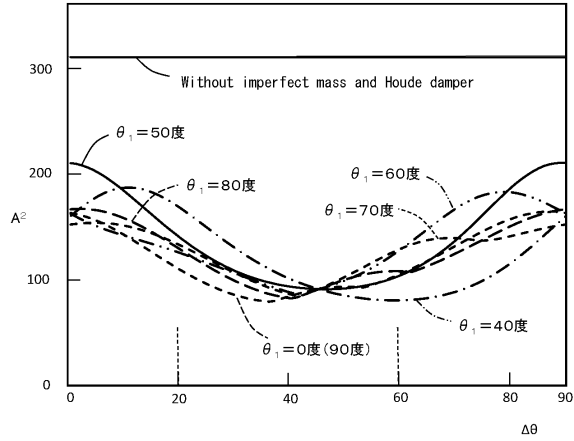


【 図 3 】



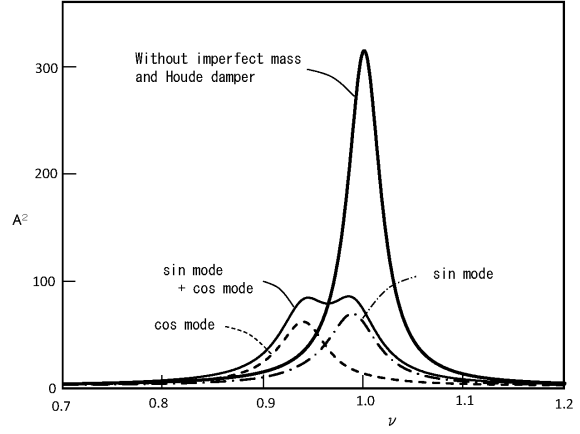
$\mu_1 = 0.1, \mu_{r11} = \mu_{r12} = 0.05, \gamma_{r11} = \gamma_{r12} = 0.5$

【 図 4 】



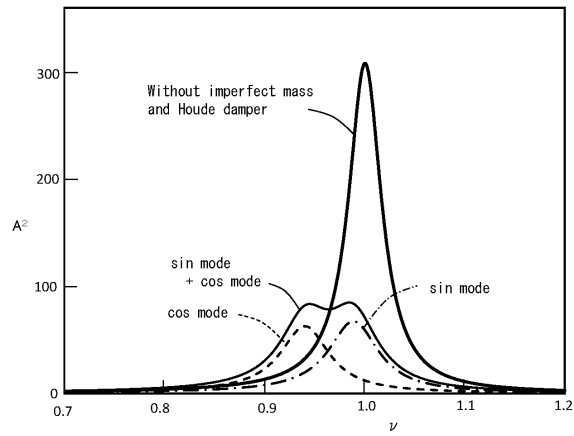
$\mu_1=0.1, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5$

【 図 5 】



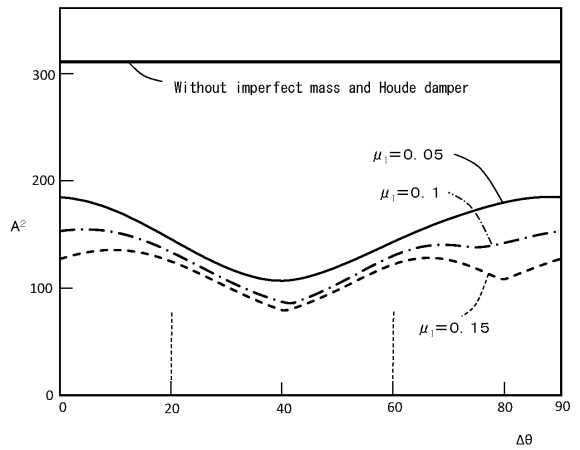
$\mu_1=0.1, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5, \theta_1=30度, \Delta\theta=50度$

【 図 6 】



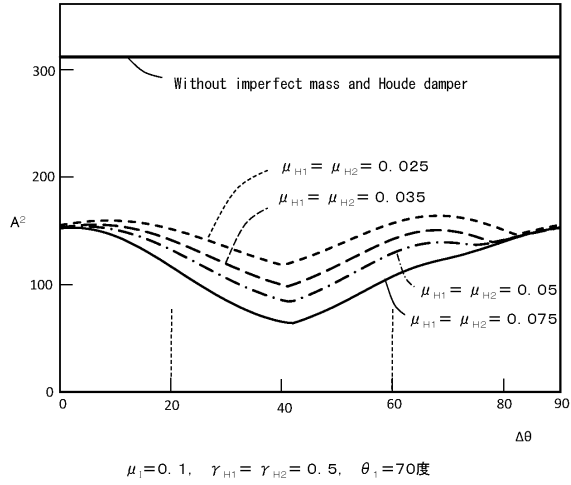
$\mu_1=0.1, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5, \theta_1=70度, \Delta\theta=41度$

【 図 7 】

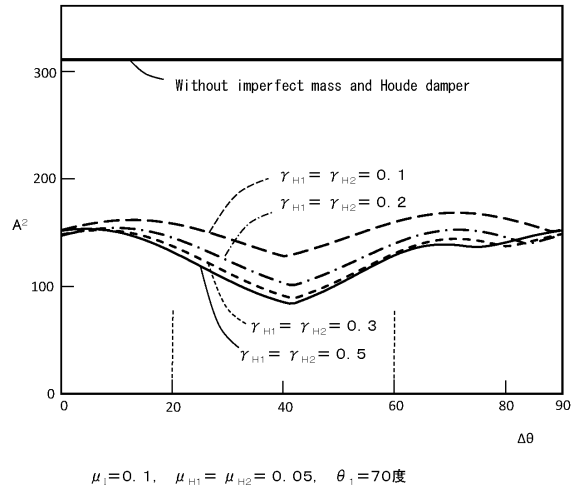


$\mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5, \theta_1=70度$

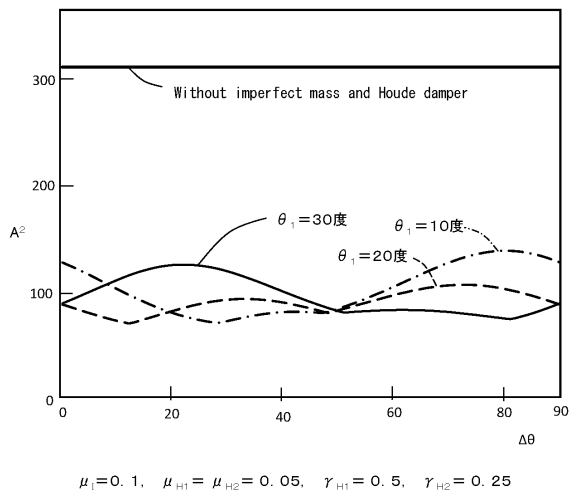
【 図 8 】



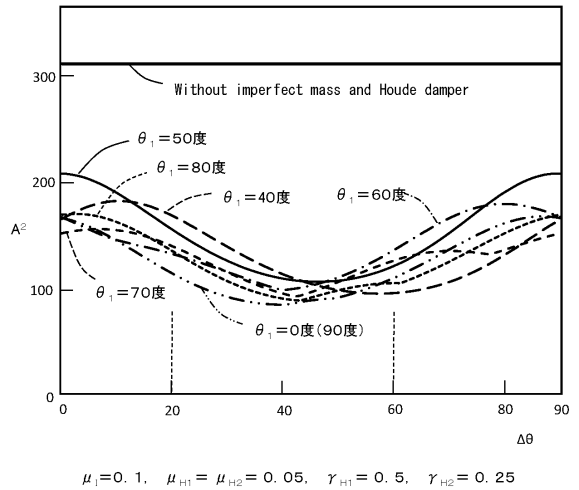
【 図 9 】



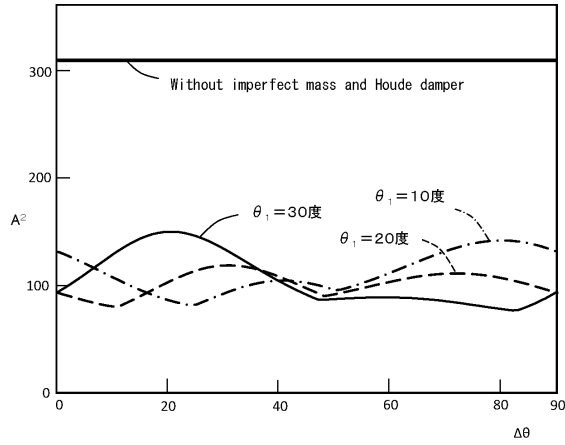
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】

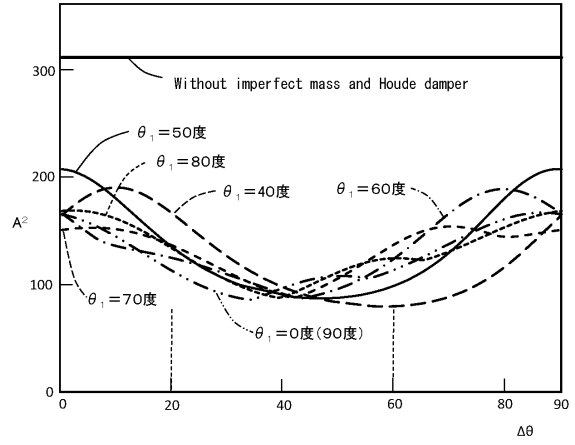


【 図 1 2 】



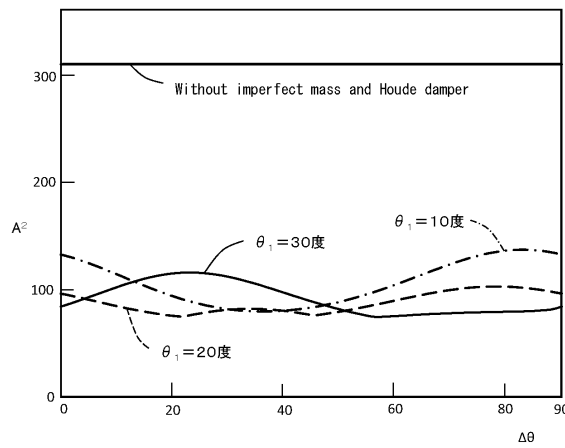
$\mu_1=0.1, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=0.25, \gamma_{H2}=0.5$

【 図 1 3 】



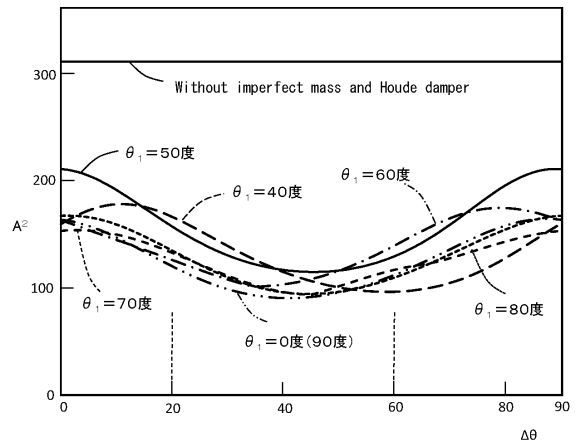
$\mu_1=0.1, \mu_{H1}=\mu_{H2}=0.05, \gamma_{H1}=0.25, \gamma_{H2}=0.5$

【 図 1 4 】



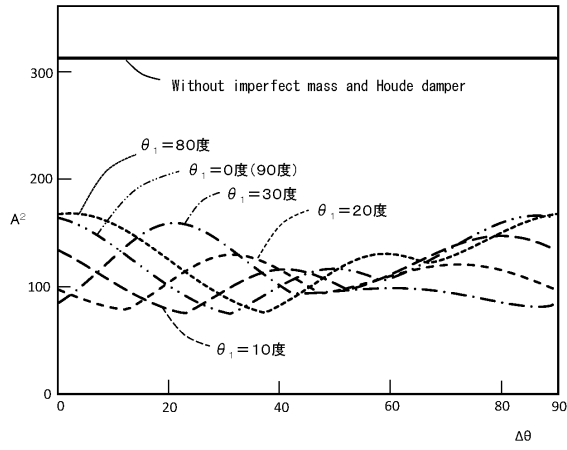
$\mu_1=0.1, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5, \mu_{H1}=0.07, \mu_{H2}=0.035$

【 図 1 5 】



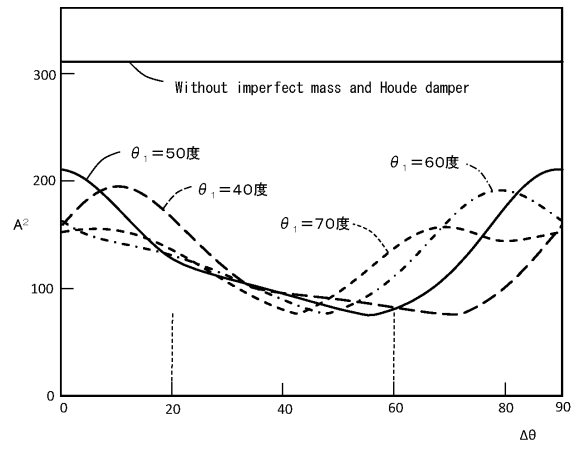
$\mu_1=0.1, \gamma_{H1}=\gamma_{H2}=0.5, \mu_{H1}=0.07, \mu_{H2}=0.035$

【図 16】



$\mu_1 = 0.1, \gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5, \mu_{H1} = 0.035, \mu_{H2} = 0.07$

【図 17】



$\mu_1 = 0.1, \gamma_{H1} = \gamma_{H2} = 0.5, \mu_{H1} = 0.035, \mu_{H2} = 0.07$

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

審査官 宮崎 賢司

(56)参考文献 特開2014-057406(JP,A)

特開2001-128410(JP,A)

特開2000-046103(JP,A)

特開2010-124591(JP,A)

特許第6581017(JP,B2)

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 5/24

F16F 15/14