

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4683198号
(P4683198)

(45) 発行日 平成23年5月11日(2011.5.11)

(24) 登録日 平成23年2月18日(2011.2.18)

(51) Int.Cl.

H02P 27/06 (2006.01)

F I

H02P 5/41 302Q

請求項の数 2 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2005-106260 (P2005-106260)	(73) 特許権者	000006622
(22) 出願日	平成17年4月1日(2005.4.1)		株式会社安川電機
(65) 公開番号	特開2006-288113 (P2006-288113A)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
(43) 公開日	平成18年10月19日(2006.10.19)	(72) 発明者	佐藤 一男
審査請求日	平成20年2月26日(2008.2.26)		福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号
			株式会社安川電機内
		審査官	尾家 英樹
		(56) 参考文献	特開2003-009562(JP, A)
)
			特開平06-078575(JP, A)
)
			特開2004-086702(JP, A)
)
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 振動抑制フィルタの設定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

サーボモータを駆動するサーボ制御装置における振動抑制フィルタの設定方法であって、

前記サーボ制御装置運転中に発生する振動を検出し、
 前記振動から周波数成分の大きい周波数を振動周波数として抽出し、
 前記振動周波数が所定値より低い場合は振動抑制フィルタとして前記振動周波数以上の帯域を遮断するローパスフィルタを適用し、
 前記振動周波数が所定値以上の場合は振動抑制フィルタとして前記振動周波数近傍の帯域を遮断するノッチフィルタを適用し、
 前記ノッチフィルタを適用する場合には、一旦前記ノッチフィルタのQ値を設定後、前記Q値を大きくしながら前記振動の抑制効果を確認し、振動抑制効果が確認された適切な前記Q値を設定するものであって、
 前記Q値を大きくする過程において、記振動周波数と前記サーボ制御装置の速度制御ゲインとの干渉を考慮して、前記ノッチフィルタのノッチ周波数および前記Q値と、前記サーボ制御装置の速度制御ゲインの関係を次式のようにすることを特徴とする振動抑制フィルタの設定方法。

$$K_v \leq \left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{6} \right) \left(-\frac{1}{Q} + \sqrt{\frac{1}{Q^2} + 4} \right) f_c$$

ただし、 K_v : 速度制御ゲイン

Q : Q 値

f_c : ノッチ周波数

【請求項 2】

前記 Q 値を大きくする過程において前記振動の抑制効果がない場合、再度前記振動周波数を測定して再測定した前記振動周波数近傍の帯域を遮断するノッチフィルタを適用し、 Q 値を設定することを特徴とする請求項 1 に記載の振動抑制フィルタの設定方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、サーボモータを駆動するサーボ制御装置において、機械などの振動を抑制する振動抑制フィルタを設定する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

20

サーボ制御装置の運転中に発生する振動の周波数を求めるために、従来は図 8 に示すように周波数解析装置（または高速フーリエ変換（FFT）解析装置）12 とサーボ制御装置を接続し、周波数解析装置 12 からサーボ制御装置へ速度指令などの指令を与え、その結果であるサーボモータ 6 の回転速度などを周波数解析装置 12 へフィードバックする構成をとっていた。

周波数解析装置 12 は周波数を掃引した信号をサーボ制御装置へ出力する一方、サーボ制御装置により駆動されるサーボモータ 6 の速度波形を FFT 解析し、振動周波数を求めている。または、掃引波形とサーボモータ 6 の速度波形の FFT 解析結果から機械系の周波数特性を求め、振動周波数を特定していた。

このようにして求めた振動周波数から、共振を発生させる周波数を遮断する振動抑制フィルタ（ノッチフィルタや低減通過（ローパス）フィルタなど）のパラメータを設定していた。

30

例えば、図 5（a）のような周波数応答のグラフから共振周波数 f_0 を求め、フィルタの遮断周波数を図 5（b）のように f_0 より低い値に設定していた（例えば特許文献 1 参照）。

あるいは、サーボモータの検出速度を 2 次以上のハイパスフィルタに通しさらにノッチフィルタに通した出力が所定値以上となった場合にノッチフィルタのノッチ周波数を修正し、その周波数を振動抑制のための別のノッチフィルタのノッチ周波数として設定するという手法が用いられていた（例えば特許文献 2 参照）。

このように、従来は周波数解析装置などの測定器で測定を行い、手動にて振動抑制フィルタの設定を行っていた。

40

【0003】

【特許文献 1】特開 2003 - 9562 号公報

【特許文献 2】特開 2003 - 52188 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献 1 の方法では機械系の周波数特性を求めるために専用の測定器が必要で、周波数掃引する周波数、速度指令信号を用い適当な振幅などの条件を人が設定する必要があった。

50

条件を間違えて設定して速度指令信号が小さくなると正しく測定できず、逆に速度指令信号が大きいと大きな共振が発生して機械を壊してしまうといった問題があった。またQ値は別途調整しなければならないという問題があった。

一方、特許文献2の方法では構成が複雑であったり、Q値の調整ができなかったりするという問題があった。

本発明はこのような問題点に鑑みてなされたものであり、振動抑制フィルタ設定後、振動の大きさを確認し、適切なQ値を設定できる方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記問題を解決するため、本発明は、次のようにしたのである。

請求項1に記載の発明は、サーボモータを駆動するサーボ制御装置における振動抑制フィルタの設定方法であって、前記サーボ制御装置運転中に発生する振動を検出し、前記振動から周波数成分の大きい周波数を振動周波数として抽出し、前記振動周波数が所定値より低い場合は振動抑制フィルタとして前記振動周波数以上の帯域を遮断するローパスフィルタを適用し、前記振動周波数が所定値以上の場合は振動抑制フィルタとして前記振動周波数近傍の帯域を遮断するノッチフィルタを適用し、前記ノッチフィルタを適用する場合には、一旦前記ノッチフィルタのQ値を設定後、前記Q値を大きくしながら前記振動の抑制効果を確認し、振動抑制効果が確認された適切な前記Q値を設定するものであって、前記Q値を大きくする過程において、記振動周波数と前記サーボ制御装置の速度制御ゲインとの干渉を考慮して、前記ノッチフィルタのノッチ周波数および前記Q値と、前記サーボ制御装置の速度制御ゲインの関係を次式のようにすることを特徴とする。

$$K_v \leq \left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{6} \right) \left(-\frac{1}{Q} + \sqrt{\frac{1}{Q^2} + 4} \right) f_c$$

ただし、 K_v ：速度制御ゲイン

Q ：Q値

f_c ：ノッチ周波数

また、請求項2に記載の発明は、前記Q値を大きくする過程において前記振動の抑制効果がない場合、再度前記振動周波数を測定して再測定した前記振動周波数近傍の帯域を遮断するノッチフィルタを適用し、Q値を設定することを特徴とする。

【発明の効果】

【0006】

請求項1に記載の発明によると、振動抑制フィルタの振動抑制効果を確認することができ、さらに効果を上げるためQ値を最適な値に調整することができる。

また、請求項2に記載の発明によると、振動抑制効果がない場合に再度振動周波数を測定してQ値を設定することができる。

また、請求項3に記載の発明によると、速度制御ゲインや制御周波数などとの干渉を防止することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

以下、本発明の方法の具体的実施例について、図に基づいて説明する。

【実施例1】

【0008】

図1は、本発明の方法を実施するサーボ制御装置の構成を示す構成図である。

実際のサーボ制御装置には様々な機能や手段が内蔵されているが、図には本発明に関する機能や手段のみを記載し説明することとする。

図 1 において 1 は振動検出手段、2 はマイクロコンピュータ、3 は電流アンプ、4 はベースドライブ回路、5 はパワートランジスタモジュール、6 はモータ、7 はエンコーダ、8 はモータ 6 の負荷、9 はデータトレース手段、10 は周波数解析手段である。マイクロコンピュータ 2 内は、振動抑制フィルタを適用する振動抑制フィルタ部 11 を備える。

以上のように構成された装置について、その動作を説明する。まずマイクロコンピュータ 2 は位置や速度といった指令を外部のコントローラから受け取る。

例えば速度指令であれば、マイクロコンピュータ 2 は速度指令から速度フィードバックを差し引き、ゲインを乗じて速度制御を行い、電流アンプ 3 はマイクロコンピュータ 2 が出力する電流指令に従って電流制御を行い、ベースドライブ回路 4 を介してパワートランジスタモジュール 5 を駆動してモータ 6 を制御する。

10

【0009】

ここでデータトレース手段 9 は、モータ 6 が定速運転のような通常の運転中、モータ 6 の指令速度と実際の速度との差や、トルクといったデータを図 2 のようにトレースする。

早送り速度中に振動が発生した場合には振動検出手段 1 にて検出する。ここで、振動検出手段 1 はモータ 6 へのトルク指令（電流指令）あるいはモータ 6 からフィードバックされる速度信号中に含まれる振動成分が予め定めたレベルを超えた場合に振動として検出するものとする。

検出レベルは例えば図 3 のように、実際に運転させた時の振動振幅を検出して決定する。図 3 では通常運転時のモータ 6 へのトルク指令の振動振幅の最大値を検出しており、例えばこの通常時の振動レベルの 3 倍程度を検出レベルとする。

20

振動が検出されると、その時のトレースデータを周波数解析手段 10 にて周波数解析する。解析結果のうち、スペクトル分の大きい周波数成分または振動エネルギーに相当するものが大きい周波数（周波数とその時の振動振幅との積、またはその 2 乗値が大きい周波数）を選択する。図 4 の例では図 4（b）にて f_0 を選択している。

【0010】

周波数解析により選択した振動周波数 f_0 を、マイクロコンピュータ 2 にて振動抑制フィルタ（例えばノッチフィルタ）のノッチ周波数として設定し、マイクロコンピュータ 2 による信号処理としてフィルタリングを行うと図 5（a）のような共振と反共振特性を持った機械系の周波数特性を、図 5（b）のように共振を抑えた特性に制御することができる。

30

ノッチフィルタは図 6 に示すような特性を持ち、その入力信号から不要な周波数を除去すると同時にその他の周波数に与える影響は少なくするために使用される。ノッチ周波数とは、図 6 の f_c に当たる。

あるいは f_0 をもとにローパスフィルタの遮断周波数を設定しても同等の効果を得ることができる。この場合はローパスフィルタの遮断周波数は f_0 を予め設定した定数倍したものとすればよい。

【0011】

振動抑制フィルタとしてノッチフィルタを用いる場合には、図 6 に示すようにそのノッチ周波数 f_c 付近でしか振動抑制の効果がなく、ピンポイントで設定しなければならない。ノッチ周波数と振動周波数とが一致していないと振動抑制の特性が劣ったり、逆効果になったりする。そこで Q 値や深さなどを変化させて適当なノッチ周波数へと絞り込むことにより、振動抑制効果を確認することができる。これはノッチ周波数を絞り込んでも振動抑制効果がない場合は、周波数がずれているということで、逆効果になってしまうからである。

40

Q 値とはフィルタの周波数応答の変化の鋭さを示す尺度であり、図 6 に示すような特性のノッチフィルタにて Q 値を大きくすると、そのノッチ周波数付近の帯域でしか振動抑制効果はなくなる。図 6 において、 $3[dB]$ 遮断周波数 f_{c1} とノッチ周波数 f_c との関係は次式のとおりである。

【0012】

50

【数 1】

$$fc1 = \frac{1}{2} \left(-\frac{1}{Q} + \sqrt{\frac{1}{Q^2} + 4} \right) fc \quad \dots \text{式 (1)}$$

【0013】

例えば $fc = 1000 [\text{Hz}]$ 、 $Q = 0.7$ の場合、 $fc1 = 515 [\text{Hz}]$ となるが、 Q 値を大きくして $Q = 2.0$ とすると $fc1 = 781 [\text{Hz}]$ となり、振動抑制効果が発揮される帯域が狭くなるのが分かる。

【0014】

10

振動抑制フィルタの設定の一連の工程を図7に示すフローチャートにて説明する。まずステップ1でデータトレース手段9にてトルク指令または検出速度をトレースする。次にステップ2で、振動検出手段1にて振動が発生したか確認する。振動が発生した場合、ステップ3でデータトレース手段9のデータを周波数解析手段10にて解析する。

次にステップ4で振動周波数の判定を行う。前述したようにスペクトル分の大きい周波数成分または振動エネルギーに相当するものが大きい周波数を選択する。

また振動発生中に数回に渡ってデータを採って振動周波数を判定する場合であれば数回分のデータから振動エネルギーに相当するものが大きい周波数を選択するようにすると判定しやすい。

次にステップ5にて、振動周波数が制御系の性能によって決まる周波数以上であると判定された場合は、ステップ6-1のように振動周波数近傍を遮断するような振動抑制フィルタ（例えばノッチフィルタ）を選択し、前述のQ値などを設定するステップへ移る。

20

振動周波数が制御系の性能によって決まる周波数より低い場合は、ステップ6-2のようにその振動周波数以上を遮断するような振動抑制フィルタ（例えばローパスフィルタ）を選択してフィルタの時定数などを設定する。

制御能力によって決まる周波数は、例えば「振動周波数が $400 [\text{Hz}]$ 以下の場合は制御ゲインに影響を及ぼす可能性があるのでローパスフィルタを使用する」など、制御能力や制御ゲインに応じて後述の式(3)より算出するか、あるいは予め求めておく。

【0015】

振動抑制フィルタとして一次のローパスフィルタを用いる場合には、速度制御ゲイン K_v と遮断周波数 $fc1$ との関係は例えば次式のようにして、これに適合するよう $fc1$ を設定する。

30

【0016】

【数 2】

$$K_v \leq \left(\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3} \right) fc1 \quad \dots \text{式 (2)}$$

【0017】

ノッチフィルタを用いる場合には、式(2)の $fc1$ に式(1)を代入し、次式のようにして、これに適合するよう Q 値を設定する。ここで、ノッチ周波数 fc をステップ4にて求めた振動周波数とする。

40

【0018】

【数 3】

$$K_v \leq \left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{6} \right) \left(-\frac{1}{Q} + \sqrt{\frac{1}{Q^2} + 4} \right) fc \quad \dots \text{式 (3)}$$

【0019】

例えば式(3)にて $fc = 1000 [\text{Hz}]$ 、 $Q = 0.7$ とすると式(1)より $fc1 =$

50

5 1 5 [H z]となるのでK v の最大値は1 2 9 [H z]以上1 7 2 [H z]以下となる。

このようにして本発明では、速度制御ゲインK v との干渉を考慮してQ 値を設定することができる。また、速度制御ゲインK v の最大値の上限、下限の範囲(式(2)における1/4~1/3のような係数)は制御遅れやマージンを考慮して決定する。

そしてノッチフィルタを用いる場合、ステップ7でQ 値を変え、ステップ8で振動データをトレースし、振動レベルを確認し、振動が小さくなるならばQ 値を大きくする(ステップ10)。

振動抑制の効果があるならばそのノッチ周波数とQ 値を採用し、効果がない場合はノッチ周波数が適切でないと判断して再設定を行う(ステップ11でY e s の場合)。

【0020】

10

このように機械系に振動、共振や共鳴が発生した際に、必要な振動抑制フィルタを設定することができる。また連続して解析したものとは異なり、共振周波数のみ得られるので制御系の振動成分と分けることができる。

解析するデータは機械系の振動を反映するものであればモータの検出速度と推定速度との差以外のもの、例えばトルクなどでもよい。推定速度としては、トルク指令から負荷を考慮して算出した速度やオブサーバにより推定した速度を使用する。

また、振動検出手段1、データトレース手段9や周波数解析手段10はマイクロコンピュータ2で行ってもよい。

【産業上の利用可能性】

【0021】

20

本発明は、モータを駆動するサーボ制御装置での機械系の振動抑制用途に広く適用できる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の方法を適用するサーボ制御装置の構成を示す図

【図2】通常運転した時の速度指令、速度、トルクの波形と振動レベルの測定タイミングを示す図

【図3】振動波形の例を示す図

【図4】FFTによる周波数解析の例を示す図

【図5】ノッチフィルタまたはローパスフィルタを適用した例を示す図

30

【図6】ノッチフィルタの周波数特性を示す図

【図7】本発明の振動抑制フィルタ設定手順を示すフローチャート

【図8】従来の振動抑制フィルタの設定方法を示す構成図

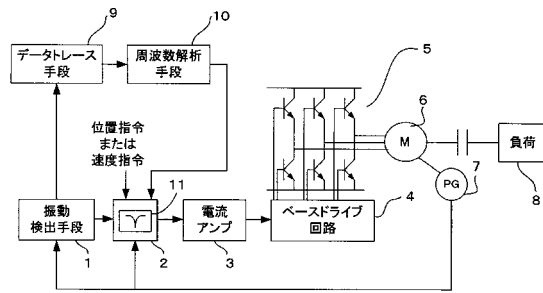
【符号の説明】

【0023】

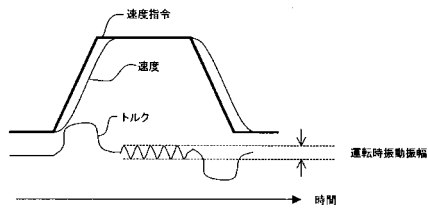
- 1 振動検出手段
- 2 マイクロコンピュータ
- 3 電流アンプ
- 4 ベースドライブ回路
- 5 パワートランジスタモジュール
- 6 モータ
- 7 エンコーダ
- 8 負荷
- 9 データトレース手段
- 10 周波数解析手段
- 11 振動抑制フィルタ部
- 12 周波数特性解析手段

40

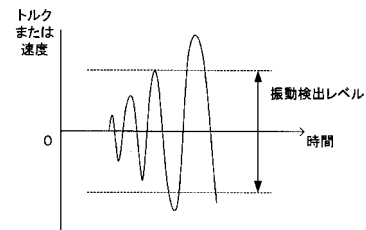
【図 1】



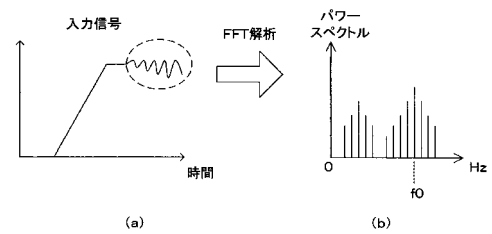
【図 2】



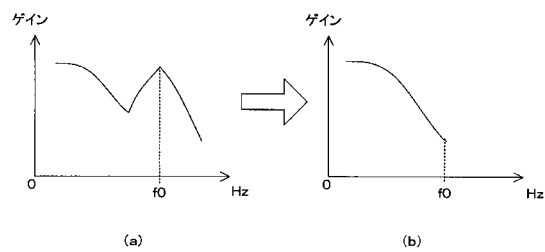
【図 3】



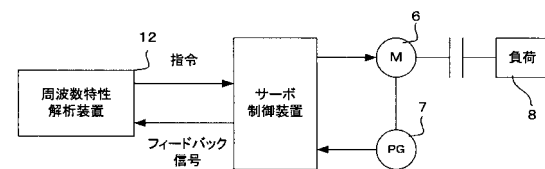
【図 4】



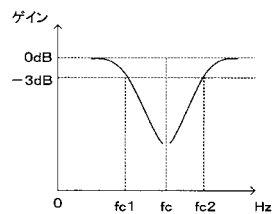
【図 5】



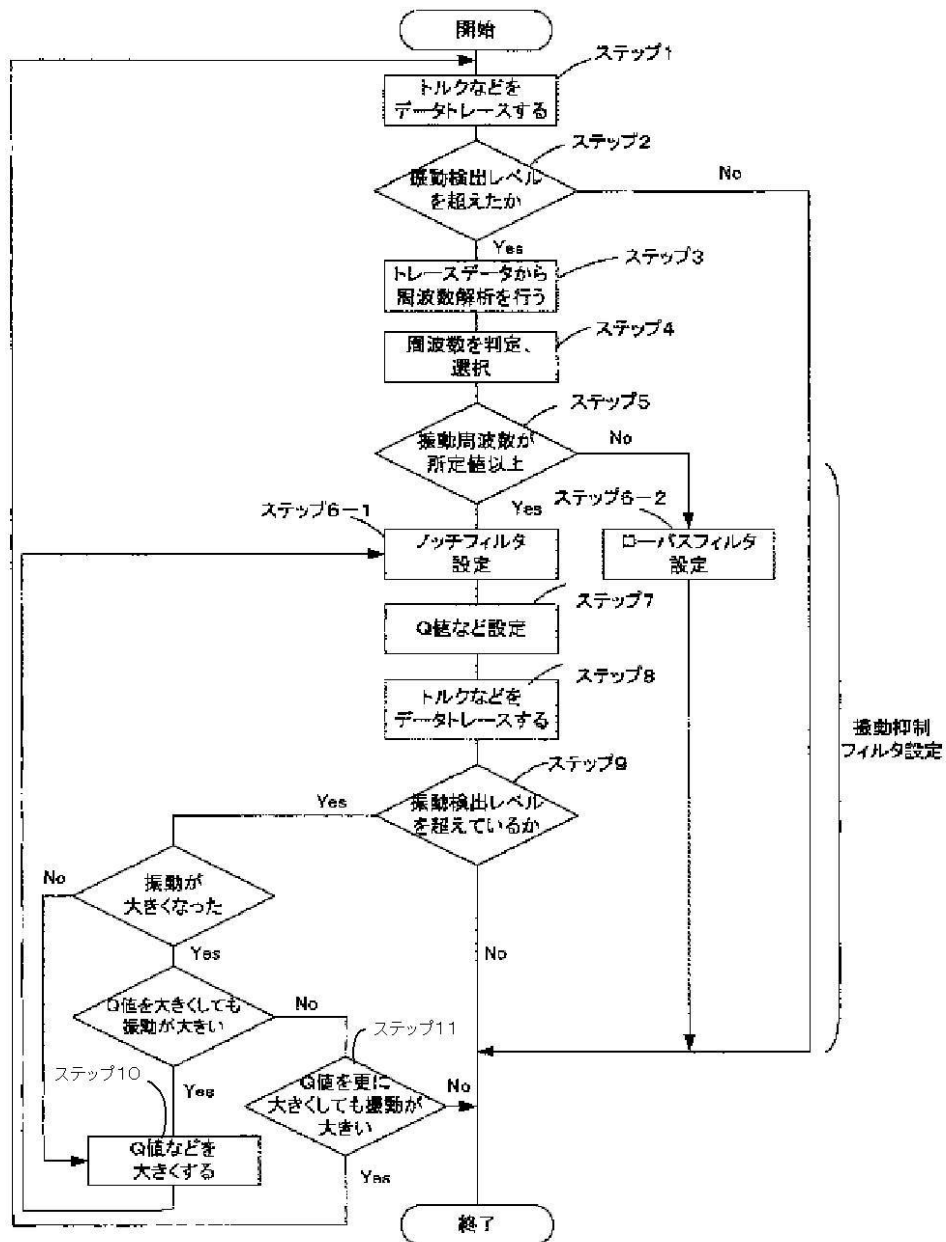
【図 8】



【図 6】



【図7】



フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

H 0 2 P 2 1 / 0 0 - 2 9 / 0 4