



Title	不連続減衰サーボ機構の研究
Author(s)	伊藤, 正美
Citation	大阪大学, 1964, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/28816">https://hdl.handle.net/11094/28816</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍)	伊藤 正美
学位の種類	工学博士
学位記番号	第 560 号
学位授与の日付	昭和 39 年 4 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	不連続減衰サーボ機構の研究
(主査)	教授 西村正太郎
論文審査委員	(副査) 教授 山村 豊 教授 山中千代衛 教授 尾崎 弘 教授 犬石 嘉雄 教授 宮脇 一男

### 論文内容の要旨

非線形補償要素を積極的に利用すれば、線形制御系では得ることの出来ない優れた過渡特性を得ることが出来るが、D. McDonald, やJ. B. Lewisらは、制御パラメータ(減衰係数)を誤差の大きさと逆関係に、非線形的に変化させる補償方式を考えて、ステップ入力に対する過渡応答特性の改善を図った。しかしこれらの研究においては、「非線形制御系では重畳の理が成立しない」ことのために、ステップ入力の大きさによっては、また、ステップ入力以外の入力に対して、必ずしも、良好な応答を示さない場合が存在する難点を有している。

そこで、筆者は、D. McDonaldの非線形減衰サーボ機構を発展させ

- (i) すべての大きさのステップ入力に対して優れた過渡特性をもつこと、
- (ii) さらにすべての初期状態から出発する場合のステップ入力に対しても優れた過渡特性をもつこと、

に特に留意し、減衰係数を不連続に切換える切換関数を決定することを目的として研究をはじめ、不連続減衰サーボ機構を開発した。さて (ii) の条件を満足する制御系は、さらにステップ入力以外の入力に対しても良好な応答特性がえられるであろうことを示唆しており、本研究の特に注目すべき特長で、実際に各種入力に対して検討し、優れた応答特性をもつことを確認した。

本論文は、この不連続減衰サーボ機構における諸問題について検討を行なったもので、次の七つの章から成っている。

第一章では、緒言として上記のごとき本研究の目的と意義について考察を行なっている。

第二章では、位相面解析法を用いて、非線形減衰サーボ機構の最適制御(ステップ入力が与えられたとき、オーバーシュートが零又は最小で最短の応答時間で平衡状態に達する制御)を与える減衰係数の最適切換関数を決定し、各種の非線形減衰サーボ機構、非線形ゲイン要素をもつ制御系、Fliege-Lo

tyの非線形制御系, 土屋の定数切換式制御系, 及び正負フィードバック制御系などの関係について検討した。

第三章では, 不連続減衰サーボ機構の簡単な構成例を与え, ディジタル計算機を用いて, そのステップ応答, ランプ応答, 周波数応答, ランダム応答を検討した。

第四章では, 本系の高次系への拡張を行ないさらに三次系を例にとって, ステップ応答, ランプ応答, 周波数応答, ランダム応答のディジタル計算機による検討を与えた。

第五章では, 操作量が飽和する場合の不連続減衰サーボ機構の検討を行ない, ステップ応答, ランプ応答, 周波数応答の飽和によってうける影響を考察した。

第六章では, 前章までの一参考資料にするため, トルク飽和及び非線形摩擦をもつ1型のサーボ機構に対する線形フィードバック補償の効果を検討した。

第七章では, 前章までに得られた主要な結論をまとめた。

以上の研究により得られた主要な結論を要約すると次の通りである。

(1) 二つの減衰係数を, 最適切換関数

$\Gamma_{2s} = \dot{e} (p_2 e + e) [ \text{ただし } p_2 = \omega_n (\zeta_{max} + \sqrt{\zeta_{max}^2 - 1}) ; \zeta_{max} \geq 1 \text{ とする} ]$  の正負に従ってリレーによって

$$\ddot{e} + 2\zeta_{min}\omega_n \dot{e} + \omega_n^2 e = 0 \quad (\Gamma_{2s} < 0)$$

$$\ddot{e} + 2\zeta_{max}\omega_n \dot{e} + \omega_n^2 e = 0 \quad (\Gamma_{2s} \geq 0)$$

(e: 偏差,  $\zeta$ : 減衰係数,  $\omega_n$ : 固有周波数)

と切換える不連続減衰サーボ機構は, どんな初期状態から出発する任意の大きさのステップ入力に対しても最適な過渡応答を与え, 線形サーボ系及び, 他の非線形補償方式をもつ制御系と比較してもすぐれた過渡特性をもつ,

(2) 定常速度偏差による修正を行なった切換関数を使用すれば, 不連続減衰サーボ機構は, ランプ応答, 周波数応答, ランダム応答に対してもすぐれた応答特性を示す。

(3) 不連続減衰補償の考え方とは, 制御対象の伝達関数が3次以上の高次の系で表わされる場合に対しても拡張することが可能で, 良好的な過渡特性を与えるn次系の場合の切換関数は,

$$\Gamma_n = \dot{e} [\gamma_0 (e - \theta_i / K) + \gamma_1 \dot{e} + \gamma_2 \ddot{e} + \dots + \gamma_{n-2} e^{(n-2)} + e^{(n-1)}]$$

(e: 偏差,  $\theta_i$ : 入力, K: ループ利得,  $\gamma_0, \dots, \gamma_{n-2}$ : 定数)

の形をもち, 3次不連続減衰サーボ機構のステップ応答, ランプ応答, 周波数応答及びランダム応答が線形系に比し, 優れた応答特性をもつことを確めた。

(4) 系の操作量が飽和する場合は, 切換パラメータを過制動の場合の減衰係数  $\zeta_{max}$  と独立に選んだ切換関数をもつ直線切換による不連続減衰補償方式によれば, ステップ応答, ランプ応答, 周波数応答とも, 線形補償方式に比較して, 飽和の影響が少いとき優れた応答特性を示すが, 飽和の影響がつよくなると線形補償方式による場合の応答特性に近似していく。

(5) 以上の切換関数が位相面上の切換直線と  $e$  の積として表わされる場合の不連続減衰サーボ機構の補償装置は, アナログ計算機の考えに従えば簡単に構成出来る。

- (6) 本系は、普通のリレーサーボ系のように電力の切換えでなく、パラメータの切換えを行なうのであるから、リレー要素は小容量のもので間にあう。
- (7) 系の操作量が飽和する場合減衰係数を切換える切換関数として最適リレーサーボ機構における最適切換関数  $R_s$  と  $e$  との積  $T_{op} = R_s e$  を使用すれば、飽和領域では正負最大トルクの最適切換えを行ない、平衡点付近の不飽和領域では減衰係数の切換えをともに行なう、かなりすぐれた動特性（最適リレーサーボ機構に非常に近似の）をもつデュアル・モード系がえられる。本系は、デュアルモード系であるから、最適リレーサーボ系にみられる平衡点付近の“高周波振動”を防止できる。
- (8) 飽和及摩擦特性をもつサーボ機構を線形フィードバック補償した際の補償効果を検討し線形補償の限界、問題点などを明らかにした。

### 論文の審査結果の要旨

本論文は、「不連続減衰サーボ機構の研究」と題し、サーボ機構の減衰係数の値を不連続的に切り換えることによって、制御性能を著しく向上させることを目的とする研究をまとめたもので、7章からなっている。

第1章は緒論である。

まず、これまでサーボ機構の制御性能を向上させるために提案された各種の方式について、得失を検討している。ついで、これらのサーボ機構に要求される重要な特性として、サーボ機構がすべての大きさのステップ入力、ならびにすべての初期状態に対してすぐれた過渡特性をもつためには、著者の方式が最もすぐれており、またこの方式によれば、ステップ入力以外の入力信号波形に対しても、良好な応答が得られることを述べて、著者の研究の意義と立場を明らかにしている。

第2章は、2次の線形サーボ機構を変形して、物理的に実現可能な範囲で、減衰係数が最小値と最大値をとり得るようにした不連続減衰サーボ機構の最適制御について述べたものである。

このサーボ機構にステップ入力が加えられるとき、任意の初期条件に対して、オーバーシュートが零または最小で、応答時間も最小という制御性能の評価を満足する最適切換関数を決定している。この切換関数は簡単な機構で計算され、サーボ機構の減衰係数を切り換える。また、このようにすれば、他の方式に比べてすぐれた応答性が得られることを明らかにしている。

第3章は、著者の不連続減衰サーボ機構が、ステップ入力以外の入力に対してもすぐれた応答を示すことを述べたものである。

すなわち、ランダム入力に対しては、前章の切換関数、従って計算機構を少し修正すれば、同じ評価を満足する不連続減衰サーボ機構が構成され、しかもステップ入力はもちろん正弦波入力に対しても、すぐれた制御特性をもつことを明らかにしている。また振幅の確率密度が正規性のランダム入力に対する応答例を計算機によって求め、このような入力に対しても、著者の方式が他の方式よりもす

ぐれれていることも確かめている。

第4章は、著者の考え方が、高次のサーボ機構にも適用出来ることを述べたものである。

まず、3次のサーボ機構について、ステップ入力、ランプ入力に対する最適切換関数を理論的に求め、その計算機構を検討している。その他の形の入力については、計算機によつて応答波形を求め、いずれも他の方式に比べてすぐれていることを確かめている。さらに、一般に $n$ 次のサーボ機構については、ステップ入力に対する最適切換関数を求めている。

第5章は、サーボ機構の操作量が飽和する場合、不連続減衰サーボ機構の応答特性がうける影響と、その対策とを述べたものである。

この場合、サーボモータのトルクの飽和を問題としており、最適切換関数の修正を要するが、むしろ簡単な直線切換えによって、かなりよい制御性能が得られることを述べ、さらに性能をあげるためにには、飽和領域で動作する間は、正負最大トルクの最適切換えにより、平衡点付近の不飽和領域では、減衰係数の値の切換えによるいわゆる2重動作方式が、極めて効果的であることを明らかにしている。

第6章は、現実のサーボ機構が、飽和や摩擦などの非線形性をもつて、これらの非線形性を考慮した場合のサーボ機構の線形補償法の限界について述べ、著者の不連続減衰サーボ機構の重要性を強調したものである。

第7章は結論で、以上の研究成果をまとめたものである。

サーボ機構には、速応性と安定性という相反する性質が要求されあるので、従来の研究も、この二つの性質をどこまで両立させ得るかというところに重点がおかれた。いろいろな方式が提案されたが、入力信号や初期条件によっては、却って制御性能を悪くする方式もあり、この制御性能をどこまで追及出来るかが問題として残されていた。

著者は、入力信号や初期条件のいかんによらず、オーバーシュートが零または最小、応答時間も最小という評価基準を満足する方式として、不連続減衰サーボ機構を提案した。この方式は、従来の各方式の欠点を巧みに除き、サーボ機構の制御性能を一層向上させたものである。

最近、自動制御における最適化理論の発展により、制御系の設計手法の変革と、制御性能の一層の向上が期待されているが、著者の研究は、その方向に貴重な知見を加えたものということが出来る。さらに著者的方式が、論理的な設計方針を示しただけでなく、実現可能でしかも経済性を十分考慮したものであることも、この研究の重要な成果である。

以上のように、本論文は工学ならびに工業上、貴重な資料を提供したもので、博士論文として十分価値あるものと認める。