

氏 名	畑 田 稔 はた だ みのる
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	工 博 第 407 号
学位授与の日付	昭 和 50 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 電 気 工 学 専 攻
学位論文題目	制御系の安定問題に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教授 桑原道義 教授 得丸英勝 教授 西川 禕一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は非線形制御系および周期的に変化するパラメタをもつ制御系の安定判別法について、著者が行った研究結果をまとめたものであって、本文7章および付録から成っている。

第1章は序論である。すなわち本章では非線形制御系および周期的に変化するパラメタをもつ制御系の安定判別法について、従来から行なわれてきた研究の流れを示し、本研究の概要を述べている。

第2章では非線形制御系に対する Popov の定理の適用法を拡張して、非線形制御系が絶対安定であるために非線形特性の存在するべき安定セクタを決定するための新しい円板定理を導いている。

Popov の定理を非線形制御系に適用する場合、線形部の伝達関数の極が s 平面の右半面には存在しないことが必要であるから、フルビッツセクタが (k_h, k_H) , $0 < k_h < k_H$ であるような条件安定系に対してはそのままでは適用できない。このような制御系に対して安定セクタ (k_1, k_2) を求めるためには、この制御系を等価変換して Popov の定理を適用することが可能であるが、いろいろな値の k_1 および k_2 に対してこの過程をくり返すことは非常な労力を要する。本論文では k_1 および k_2 によって定まる2点 P および Q と比較的簡単な作図によって得られる P, Q 2点を通る円 C を用い、線形部のポポフ軌跡の $0 \leq \omega \leq 1$ に相当する部分がこの円外にあり、 $1 < \omega$ の部分が Q 点における円 C の接線よりも右側にあるとき、この制御系はセクタ (k_1, k_2) で絶対安定であるという新しい円板定理を導いている。次にこの定理を若干の例題に適用し、この定理が従来から得られている円板定理や放物線テスト法による結果よりも狭くない安定セクタを与えることを示している。なおこの安定セクタは Popov の定理をくり返し適用して得られる安定セクタよりも一般的にいて広くはならないが、両者の差がどの程度になるかを推定することができることを理論的に明らかにしている。

時間的に変化しないパラメタをもつ非線形制御系にステップ入力印加された場合の安定問題は、系の等価変換によって入力が零の形に帰着できるので、第2章で得られた新円板定理や Popov の定理の適用が可能である。しかし入力や制御系の非線形特性が時間的に変化する場合には入力が零の形に変換できな

い。第3章ではこのような場合に適用可能な時変非線形特性をもつ制御系の入力有限であるとき出力が有限である L_∞ 安定条件を与える定理が、Kalman-Yacubovich の補題とリアプノフ関数を用いて導かれている。またこれらの定理は、従来から知られているよりもより広範囲な非線形特性すなわち非線形特性の傾斜に制限をつけない場合にも適用できることが示されている。

さらに本章ではフーリエ変換を導入し、入力の2乗平均および入力とその微分値の和の2乗平均が有限である場合に、非線形制御系の状態ベクトルのノルムの2乗平均が有限であるという意味において安定となるための条件を与えると同時に、出力の大きさを評価するための定数を求めるための幾何学的手法を示している。

第4章においては周期係数線形常微分方程式で記述される制御系が2次系および3次系である場合について、漸近安定の条件を導いている。この問題に対しては円板定理や Willems の定理が適用できるが、周期性の条件を用いることにより2次系に対しては本章で得られている定理の方がより広い安定領域を与えることが例題によって明らかにされている。また3次系においても線形部伝達関数の分子の多項式が定数となる場合に対して同様の結果が得られている。

さらに第4章では周期的時変パラメタを2個以上含む場合についても漸近安定の条件が得られており、例題によって Bongiorno の定理によるよりもよい結果を与えることが示されている。

第5章は周期係数をもつ線形差分方程式で記述される2次および3次の制御系の漸近安定条件を導いている。円板定理の離散値系への拡張はすでに Tsypkin らによって与えられているが、2次系および3次系については本章で得られている結果の方が Tsypkin らの結果よりも広い安定領域を与えることが例題によって示されている。

第6章では減衰項をもつ Hill の微分方程式で記述される制御系について、漸近安定のための必要十分条件を導いている。すなわち $x(0)=0$, $\dot{x}(0)=1$ から出発した解軌道が1周期 T の後に $x(T)=0$, $\dot{x}(T)=\pm 1$ にならなければ系は漸近安定になるが、周期性の特長を利用して、制御系の微分方程式に依存した最短時間制御および最長時間制御問題を解くという新しい考え方を導入することによって、漸近安定のための条件を得ている。この結果は必要十分条件になっているので、これを第4章の例題に適用した場合、第4章の定理による結果よりも広い安定領域が得られているのは当然のことであるが、一方第4章の定理が周期 T の小さい領域では、この必要十分条件による結果に十分近い結果を与えることが示されている。

第7章は結論であって、本研究によって得られた結果を総括している。

論文審査の結果の要旨

非線形制御系の安定問題は1944年 A.I. Lufé らによって初めて定式化され、その後 Lyapunov の直接法による解法がその主流となったが、適切なリアプノフ関数を見つけるのが困難であるため、高次系に対しては思わしい結果が得られなかった。1961年 V. M. Popov は周波数領域で非線形制御系の安定判別を行なう方法を提案し、安定問題の研究に新生面を開いた。その後の理論的發展には R. E. Kalman, V. A. Yacubovich らの功績が大きい。一方周期的に変化するパラメタをもつ制御系の安定問題については、1965年頃より多くの研究がなされてきており、I. W. Sandberg, J. C. Willems らがこれに貢献した。

本論文は上記のような安定問題の研究の発展のなかにあつて、従来得られているものに比較して適用方法が簡単で、しかもより広い安定領域を得る定理を導くのを目的となされた研究結果をまとめたものであつて、本論文で得られた主な成果は次の通りである。

(1) 非線形制御系が絶対安定であるために、非線形特性が存在するべき安定セクタを決定するための新しい円板定理を導いて、Popov の定理の適用範囲を広げるとともに、多くの例題によってこの定理が従来得られている円板定理や放物線テスト法による結果よりも広い安定領域を与えることを明らかにしている。さらに Popov の定理の反復適用による結果と、著者の導いた円板定理による結果との差を理論的に推定できることを示している。

(2) 時変非線形特性をもつ制御系の入力があるとき出力が有限となる、いわゆる L_∞ 安定条件を与える定理を導き、さらに出力の大きさを評価する理論的手法を示している。この定理は従来から得られている定理のように、非線形特性の傾斜に条件をつけていないので、従来のものよりその適用範囲が広くなっている。

(3) 周期係数をもつ 2 階および 3 階の線形常微分方程式で記述される制御系の漸近安定条件を、周期性の条件を利用して導き、これが従来得られている円板定理や Willems の定理の結果よりも広い安定領域を与えることを明らかにするとともに、2 つ以上の周期的に変化するパラメタを含む場合の漸近安定条件をも新しく導き、これによる結果が Bongiorno の結果より優れていることを示している。

(4) 周期係数をもつ 2 階および 3 階の線形差分方程式で記述される制御系の漸近安定条件を求め、先に Tsykin らの得ている離散値系の円板定理による結果よりも広い安定領域を与えることを例題によって示している。

(5) 減衰項をもつ Hill の微分方程式で記述される制御系の安定限界がある種の最短時間制御および最長時間制御問題を解くことによって得られるという新しい考え方を示し、例題によってその有用性を明らかにしている。

以上を要するに本論文は非線形制御系および周期的に変化するパラメタをもつ制御系について、いくつかの新しい安定判別法を提案したものであつて、学術上および工業上寄与するところが少なくない。よつて、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。