

|             |                            |
|-------------|----------------------------|
| 氏 名         | 田 中 輝 夫<br>た なか てる お       |
| 学 位 の 種 類   | 工 学 博 士                    |
| 学 位 記 番 号   | 論 工 博 第 359 号              |
| 学位授与の日付     | 昭 和 45 年 7 月 23 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 | オンオフ熱プロセス制御系の特性改善に関する基礎的研究 |

論文調査委員 (主 査)  
教 授 榎 木 義 一 教 授 得 丸 英 勝 教 授 花 房 秀 郎

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、熱プロセスオンオフ制御系の特性改善のために、補償要素を設計する際の補償要素パラメータ最適決定法に関して、理論的実験的な研究を行なった結果をまとめたものであって、第Ⅰ部、第Ⅱ部よりなり、各部はそれぞれ6章よりなっている。

第Ⅰ部においては、熱プロセスオンオフ制御系の特性改善法の一つである、直列補償法における補償要素パラメータの決定法を研究している。すなわち、本補償法を実施する際において微分時間の増大は、定常状態における振動振幅の減少をもたらすが、過渡状態においてはげしい横すべりサイクリング現象を誘起し、制御成績の劣化をまねくものである。そのため、過渡応答、定常応答とともに良好ならしめる補償要素パラメータの決定法について述べている。第1章において、熱プロセス制御では、経済性が重要な問題であることと、制御対象の時定数が極めて大きく、調節要素の連続特性の影響があらわれないという理由より、各種工業における熱プロセス制御に対し、オンオフ調節装置が多く使用されていることを述べている。つぎに、オンオフ制御が宿命的欠陥とする自励振動発生による精密な制御が困難な点を、改善するための補償法の中で、直列補償法の短所が、横すべりサイクリングによる制御成績の劣化であることを指摘している。第2章では、完全比例微分型補償要素をもつ系に階段状目標値変更が与えられたときの系の応答を、位相面解析法により求めている。まず振動のモードが変化する微分時間の大きさの範囲の分類について、新しい提案を行なっている。しかる後、各範囲における微分時間と自励振動周期、振幅、オフセットならびに横すべりサイクリング回数の関係を明らかにし、これより最適な微分時間を、むだ時間とヒステリシス幅の関数として示している。第3章では、実在の計器に多く見られる近似比例微分型補償系に、階段状目標値変更が与えられたときの応答を、著者が新らしく提案した位相面法により解析し、微分時間と補償要素時定数が、自励振動周期、振幅、オフセットならびに横すべりサイクリング回数におよぼす影響を示している。これより微分時間と補償要素時定数の調整方針を決定している。第4章では、比例微分型温度検出要素をもつ実在の空気式オンオフ制御系において、階段状目標値変更および外乱が印加さ

れたときの応答を解析と実験により求め、過渡応答、定常応答ともに良好ならしめる補償要素パラメータの調整方針を明示している。第5章では、サーミスタを複合化することにより、温度変化のみならず、変化の微分値をも同時に検出する要素、ならびに光電式メーターリレー、論理回路部から構成され、誤差信号の大小によって検出モードを自動的に切り換える要素とを、補償要素として試作している。これを付加することにより、過渡状態においては比例検出を、定常状態においては比例微分検出を行ない、特性改善をはかることを提案している。これ等を熱プロセスモデルに適用したときの過渡応答、定常応答の結果より、本補償要素の微分時間と検出モード切り換え幅の調整方針を明示している。最後に第6章において、第Ⅰ部の結果を総括している。

第Ⅱ部においては、いま一つの手法である付加信号線形化補償法における補償要素パラメータの決定法に関する研究を取り扱っている。まず第7章では、信号を付加する方法として、もとの制御系内の小閉ループに発生する自励振動高周波を用いる局部フィードバック法と、外部より高周波を与えて線形化する信号安定化法のあることを述べ、これ等に関する内外の研究開発の発展過程を示し、第Ⅱ部の研究の意義を明らかにしている。第8章では、局部フィードバック補償要素をもつ空気式熱プロセスオンオフ制御系に、目標値の階段状変更が与えられた際の、系に発生する自励振動周期を、解析と実験により求めている。その結果より、この系においては系の有するむだ時間と、自励振動のオン時間、オフ時間の大小関係により、設定変更の増加がかならずしも自励振動周期の増大をもたらすものではないことを明らかにしている。また設定値が一定の場合に、むだ時間の増加は、単調な自励振動周期の増加をきたさず、むだ時間とオン時間とオフ時間の相対関係によって増加減少を繰り返し、むだ時間の大きさが発生した自励振動周期と等しいときに、最小周期、すなわちむだ時間が零のときの周期と等しくなることを明らかにしている。第9章では、安定化信号を印加したときの近似解法として、オンオフ要素の出力を、高周波信号の振幅とヒステリシス幅をパラメータとする、誤差信号量の関数として表現する等価近似系による解法と、上述の近似特性の原点近傍における線形ゲインを利用した、線形近似系による解法とをとり上げ、階段状目標値変更に対する応答をそれぞれの手法により求めている。これ等の結果と、近似を行わない系の応答とを比較検討することにより、近似計算法の近似度と適用範囲を明らかにしている。また安定化信号振幅とオフセットの関係をも明確にしている。第10章では、試作した空気式安定化信号発振器の挙動と特性を明らかにしている。本発振器は、弾性座屈現象を起こす板ばねと、線形空気要素からなる閉回路に発生する自励振動を利用したものである。考察の結果、本発振器の特性が要求される諸条件を満たすものであり、制御系に付加して使用するに適当なものであることを示している。第11章においては、前節で紹介された発振器を、熱プロセスオンオフ制御モデルに適用した際の補償効果を示し、これより印加すべき安定信号振幅の調整方針を明らかにしている。最後に第12章において、第Ⅱ部を総括している。

## 論文審査の結果の要旨

熱プロセス制御の特色は、制御対象時定数が極めて大であることと、調節要素の経済性が強く要求されることであり、ここにオンオフ調節装置を使用することの意味がある。さらにオンオフ要素を用いて、一層精密高級な制御を行なうためには、補償要素を付加して、その欠点を改善しなければならない。しかるに

現在においては、補償要素パラメータの調整方針が確立されておらず、補償された系に発生する自励振動に関しても、なお明らかでない分野が多いため、この方面の研究がまたれている。この論文は第Ⅰ部において直列補償法における最適パラメータの調整方針を明らかにし、第Ⅱ部においては、付加信号線形化補償法に関する補償要素パラメータの調整条件決定のための有益な基礎資料を与えている。その主な成果は次の通りである。

1) 直列補償法において、微分時間の増加が定常状態における自励振動振幅の減少と、過渡状態における横すべりサイクリング回数の増加という矛盾した効果を与えることを指摘し、これ等の間の関係を明確にしている。また自励振動振幅を最小にする補償要素時定数の存在範囲を示し、過渡応答、定常応答とともに良好ならしめる補償要素パラメータの調整方針を示している。著者が用いた新しい位相面解析法は、微分時間の大きさによる過渡的な振動モードの分類に効果的であり、さらにこれを用いて、いままでその処理が困難であった近似比例微分型補償系の補償要素パラメータ調整方針を明らかにしている。

2) 著者が試作した複合サーミスタを構成要素とする比例微分型温度検出要素は、微分時間を容易に、かつ広範囲に変化できるものである。また過渡時における比例検出モードから、定常時における比例微分検出モードへの切り換えを、誤差信号の大きさにより自動的に切り換えるデュアルモード検出方式は、オンオフ制御に対する新しい補償法の提案である。なお本補償要素における最適な微分時間と検出モード切り換え時における誤差信号の大きさをも決定している。

3) 局部フィードバック補償系に発生する自励振動に関して、これまで明確でなかった設定変更量ならびにむだ時間と振動周期との関係が明確にされた。しかもここで用いられた解析法は、今迄困難とされた高次のリレー制御系における自励振動周期を求めることにも利用できる一般性のある厳密解である。

4) 著者が試作した空気式安定化信号発振器の出力波は、発振周波数が熱プロセス制御に対する安定化補償に必要な領域( $0.1 \sim 0.005 \text{ Hz}$ )において、振幅とともに可変である。その上構造簡単、小型という長所を有し、熱プロセスオンオフ制御の補償要素として適切なものである。また発振器の重要な構成要素である板ばねの弾性座屈現象を含めた空気系における自励振動の解析は、実験結果とともに本発振器設計上極めて有用である。

5) 信号安定化補償系に対する実用的な近似解法である等価近似系、ならびに線形近似系による解法を考察の対象とし、安定化信号振幅と、設定変更量が上記解析結果の近似度に影響を与えることを明らかにしている。この研究の結果は補償された系に対する近似解析法の適用範囲を判断するのに有効であるとともに、補償要素パラメータ調整方針を決定するための基礎資料となるものである。

以上要するに本論文は、オンオフ熱プロセス制御系に直列補償法ならびに付加信号線形化補償法を適用するにあり、良好な制御成績をうるための補償要素パラメータ決定法についての明確な指針と基礎資料を与えるものであり、学術上、工業上寄与するところが少なくない。

よって、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。