

2009年6月12日

デジタル制御を学ぶ

群馬大学 小林春夫

エレクトロニクス誌に PLL 回路や電源回路をデジタルでフィードバック制御する回路方式の紹介記事を書く際に 少し確信がもてないところがあった。そこで 制御工学の専門家である北森俊行先生（東京大学名誉教授）と宮里義彦先生（統計数理研究所 教授）にご教授をお願いした。

デジタル制御の PLL 回路や電源回路への応用を考える際に 大変貴重なコメントをいただいたので せっかくですので HP で公開します。

（問い合わせ事項）

「フィードバック制御の一般論としては 安定性と速応性はトレードオフの関係にある、デジタル制御ではパラメータ値を動的に変化できるのでそのトレードオフを解消できる（安定性と速応性の両者を満足できる）」ということは技術的に間違いないでしょうか。

（北森俊行先生の解説）

全般的に、制御対象の特性（パラメータ）が変化しない場合と変化する場合に分けて考える必要があります。

制御対象の特性が変化しないときには：フィードバック補償の補償要素（の次数）が決まっているとき、そのパラメータを動的に変えれば、あるときは速応性を犠牲にして安定性をよくし、あるいは逆に安定性を犠牲にして速応性を良くすることはできますね。しかし、あるパラメータ値のとき両方が良くなっているということにはならず、まさに満足すべきトレードオフになっているということではないでしょうか。

制御対象の特性が変化するときには：この点はロバスト設計と適応（パラメータを変化させる）の関係とは違うと思います。

ロバスト設計では制御対象の特性（パラメータ）が変化しても補償要素のパラメータを固定したままで、変動範囲に亘ってのトレードオフを図っているのに対して、適応制御では制御対象のパラメータ変化に応じて補償要素のパラメータを変えて、動的に最高の特性を追いかけているので、トレードオフに甘んじているわけではないことになります。

制御対象の特性が変化しないときに、安定性と速応性をともに向上させるには補償要素をより高級な（次数の高い）ものにする必要があります。

PフィードバックよりPDフィードバック、PDD²フィードバック、というように、その極限は状態フィードバックです。

このように補償要素を高級なものにするにはアナログよりデジタルの方がやりやすいことは確かだと思います。

（宮里義彦先生の解説）

一般論からいえば連続時間系でも離散時間系（普通のサンプリングと零次ホールドを使うタイプ）のいずれでも、対象の負荷変動（位相遅れも含む）に対する安定性と公称システムに対する速応性はトレードオフの関係にあります。

ただしお話し of ADPLL は離散時間化（デジタル化）そのものに改良を加えた方法に思われるので（回路は専門外なので私の勝手な想像ですが）、上記の一般論には当てはまらない範疇なのかもしれません。

デジタル制御論でサンプリング（またはホールド）方式そのものの変更を扱う話題としては、一般化ホールド関数や多重サンプリング方式などがあり、その中では通常の方式とは異なる感度関数値の実現が議論されているようです。

（小林コメント）

回路設計・解析には制御工学の知識や考え方が非常に役に立つ。

このことは制御工学の研究者はあまり気が付いていないようであるが、

ベテランの電子回路分野の大学の先生が、

“「電子回路」の講義内容の理解を助けるのは「制御工学」の講義である”
と言われていたのが 非常に印象に残っている。