

2015-08-24

Bob Electronic Co.,Ltd.

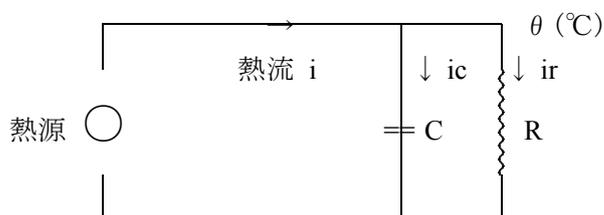
加藤三郎

PID 制御等に於いて、ときに装置の「時定数」、或いは「制御時定数」と言う言葉が出てきます。

以下にその「時定数」に付いて解説します

1) 参考熱回路

-1) 物体[装置等]に熱を加え、その物体の温度変化を計算する基礎とする「等価回路」



-2) 用語

- A) 熱源から流出する熱流 [i(J)]
- B) 物体の熱容量 [C(J / K)]
- C) 物体の熱容量に吸収されていく熱流 [ic(J)]
- D) 物体から外部に漏れ出て行く熱流 [ir(J)]
- E) 物体の温度 [θ]
- F) 熱抵抗 $R = \theta / ir$ ・ ・ ・ 熱のオームの法則
- G) 参考 : $J = 0.24 P(w)t$

2) 参考熱回路の説明

- 1) 装置の熱源[冷凍機やヒーター等]から→ Chamber や半導体用 Plate 等、様々な各種熱容量を持つ装置に流れて行く熱を熱流「i」と言う
- 2) その中、装置の主たる部分に吸収されて行く熱流を「ic」
- 3) 装置の温度「θ」は、装置の熱容量「C」に吸収されて行った熱流「ic」の分だけ上昇する。
- 4) 「i」の大部分は、その装置の主たる部分に吸収されて行くであろうが、一部は断熱材等を通して外部に漏れ出して行く。
その熱流を「ir」とする。

3)以上の事柄から、その様子を「計算式」に表し、その特性を調べる。

-1)熱のキルヒホッフの法則により、

$$i = i_c + i_r$$

$$\therefore i_c = i - i_r$$

-2)装置の温度「 θ 」は、そこに流れ込んでくる「 i_c 」の総和に比例するので、

$$\theta = \frac{1}{C} \int i_c dt \cdots \text{として表すことが出来る}$$

$$i_c = i - i_r \text{ なので}$$

$$\theta = \frac{1}{C} [\int i dt - \int i_r dt]$$

熱のオームの法則により

$$i_r = \frac{\theta}{R} \text{ なので}$$

上式(θ)は

$$\theta = \frac{1}{C} [\int i dt - \int (\frac{\theta}{R}) dt]$$

左辺に θ を揃えて

$$\theta + \frac{1}{CR} \int \theta dt = \frac{1}{C} \int i dt$$

両辺それぞれ微分して

$$\frac{d\theta}{dt} + \frac{d\theta}{CR} = \frac{di}{C}$$

$$\theta \left(\frac{1}{dt} + \frac{1}{CR} \right) = \frac{i}{C} = \frac{i \cdot R}{CR}$$

$$\theta = \frac{i \cdot R}{\left(\frac{1}{dt} + \frac{1}{CR} \right) CR}$$

$$= \frac{i \cdot R}{\left(1 + \frac{CR}{dt} \right)}$$

ラプラス変換して下式が得られる

$$\theta = i \cdot R \left(1 - e^{-\left(\frac{t}{CR} \right)} \right) \cdots \text{導かれた[基本式]}$$

以上で、一定の熱量「i」を装置[物体]に加えた時の、その温度上昇を表す「式」を作る事が出来ました。

この「CR」の積の Demension は、C & R 個々の Dimension から算出すると(sec)となります。

- 4) この式上での経過時間「t (sec)」が「= CR(sec)」に成った時
つまり「t = CR」の時の物体の温度「 θ 」は
 $\theta = 0.6321 \cdot i \cdot R$ と成り、
この時の「t (sec)」、つまりその物体[装置]の「CR(sec)」を、その「装置の時定数(τ)」
と云い、
その時定数(τ)の装置の温度を制御するに当たっての時定数を「制御時定数」と云う。
しからば、その「制御時定数」とは、
PID 温度制御時に於ける「微分時定数」そのものを指します。

- 5) 上式から解るとおり、「装置の時定数(τ)」は
A) 装置の熱容量[C]の大きさに比例し
B) 放熱熱抵抗(R)の大きさに比例 [放熱量[1 / R]に反比例]する
事が分かります

以上で計算が出来ました

- 6) なをここで、本来熱源から物体までの複雑であろう熱経路を、簡単な「C」一つ、
「R」ひとつに纏めての表し方を「集中常数系」と云い、
熱源から物体までの熱系を、或いはまた、物体その物を、熱流の流れの方向に輪切り
に細分化して計算する方法を「分布常数系」と云います。
*) 電子工学でのこの手の計算は全て複雑な「分布常数系」で行いますが、
*) 熱工学系でのこの手は「集中常数系」で計算する事が一般的です。

- 7) ここで、より優れた装置とは？を、その順に列挙すると
-1) Fast Recovery に優れ 負荷変動に即対応する性能
-2) Indicial Responce に優れ あらゆる命令に素早く即応する性能
-3) 精密性 長時間温度のふらつきが少ない
である事です。
特にこの「精密性」については、Fast Recovery が大きく起因します。
つまり「制御とは？」、
一言で言えば、「外乱に打ち勝つ事」です。
外乱とは、その到来 Energy の「大きさ」と、それが及ぼす Velocity の事です。
装置は、その外乱に「いち早く反応」し、「適切に処理」し、如何にその外乱の影響
を最小限に食い止めるか！ なのです。

その良否の結果が、精密か否かを左右するのです。

7) 上記の条件を満足させるべく優れた装置とは、

その熱容量「C」並びに放熱抵抗「R」を如何に小さく設計するか! と云う事に掛かっている事が解ります。

つまり

-1) 装置(物体)の質量は可能な限り「小さく」

-2) 制御性のみに着眼すれば、(小 R)で熱リークをある程度大きくし、制御時定数を小さくする事が良好な結果を得る事に成るのです。

8) 既にご承知の、速度制御等に使用する「サーボモーター」とは、

その時定数を小さくするために、正に上記したように作られているのです。

つまり、モーターの直径を小さくしてその「Flywheel Effect」を小さくし、熱に例えれば、その容量(C)を小さくし、

軸受けにはボールベアリングは使用せず「メタル」とし、常時その摩擦により一定のブレーキを掛け、熱に例えれば常時熱リークをさせ[Rを小さく]し、その時定数を小さく設計しているのです。

以上、「装置の時定数」について解説しました。

9) 余談

過去時折経験した装置メーカーの話「泣ける話」

我が社の Chamber は他社に比べ立派に「分厚い鉄板」を使っているんだよ～

また断熱材も他社に比べ「十分分厚く」しているんだよ～

凄いだろう!!!..... [CもRも馬鹿でかい]

それなのに、Bob の制御器を使っているのに「高速制御」しないんだ!

何とかしろ!!!

(泣けてきます)

爆撃機にいくら高性能コンピュターを積んでも小型戦闘機のように小回りは出来ないのです。

以後必要に応じて加筆する事がありますが、その折りには再度お送りしますので、お手数ですがその節は入れ替えをお願い致します。

以上