

二 差 圧 演 算 流 量 計 の 試 作

(昭和50年10月31日 原稿受理)

自 然 科 学 教 室 石 橋 治 生
 機 械 工 学 教 室 松 永 成 徳
 機械工学教室 (大学院) 中 山 博 愛

Development of a Secondary Instrument
to Measure Pulsating Liquid Flow

by Haruo ISHIBASHI
 Shigenori MATSUNAGA
 Hiroyasu NAKAYAMA

The numerical estimation of the effect of pulsation on a differential head of a flow nozzle was described and the method to eliminate the inertial effect was illustrated in previous report.

In order to practice the method, a secondary instrument was developed. It consists of analog devices i.e. two differential amplifiers, a subtracter, a square root circuit and a low pass filter.

The static and dynamic performance was tested. The results show that the accuracy is typically within $\pm 0.5\%$ of full-scale in the frequency range of 0~5 kHz.

For measurement of the mean flow rate the low pass filter works sufficiently.

1. ま え が き

しぼり形流量計は古くから広い分野で利用されているが、最近特にその精度のみならず信頼性および再現性を再確認する情勢にある。

実際問題として、プロセス、動力変換などにおける系の流量は脈動することが多く、その測定に関して従来多数の研究があるが、脈動の影響に基づく誤差を除去した例は極めて少ないようである。

最近、拡散形差圧計が国産化され、変換感度、安定性ともに向上しているので、瞬時流量を電圧信号として出力することができれば、いわゆるオン・ライン流量制御に利用しうるとともに、平均流量を直読することも容易になり、流量脈動の影響による流量測定誤差の解明にかかわる研究分野においても極めて便利で経済性も増大する。

本文は、すでに報告したしぼり形瞬時流量計の軸対称理論¹⁾に基づく瞬時および平均流量測定を目的とした二次計器の開発試験に関するものである。

試作流量計は、二組の差圧を拡散形差圧変換器により電圧に変換し、直流増幅、差演算、開平演算、および低域ろ波の各部によって流量の瞬時値および平均値を直読または出力できるもので、二差圧演算流量計と称する。

2. 記 号

AMP	: 増幅部
BH	: ブリッジ・ヘッド
BR	: ブリッジ・バランス抵抗
CAL	: 校正電圧
DIFF	: 差演算部
Δp	: 変換器入力差圧
e_B	: ブリッジ出力電圧
FS	: フルスケール
f_c	: 遮断周波数
G	: 利得
GA	: 利得調整器
g	: 重力の加速度
h	: 差圧水頭
K_L	: しぼりの形状寸法定数
L	: しぼりの形状寸法定数
LPFT	: 低域ろ波部
POT	: ポテンシオメータ
Q	: 流量
Q_{AV}	: 平均流量
Q_E	: 計測流量
Q_N	: 基準流量計による流量

SF : 変換係数
 SQRT : 開平演算部
 SW : 切替スイッチ
 添字

A : 増幅部 A
 B : 増幅部 B
 S : 基準値

3. 基本設計

しぼりを一次計器とし、二組の差圧を三個の圧力変換器によって電圧に変換し、すでに報告した二差圧方式¹⁾により脈動流量の瞬時値、平均値、流量係数などを電子計算機により求め、上記方式の妥当性が明らかにされている²⁾。

二つの差圧水頭 h_{12} , h_{23} を用いた流量演算式はしぼりの形状寸法定数 K_L , L_{12} , L_{23} を含み、つぎの式で与えられる。

$$Q = \left\{ \frac{2g}{K_L} (L_{23}h_{12} - L_{12}h_{23}) \right\}^{1/2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

実測に当たっては、精度確認のため、定常流によって検定するので、流体の粘性などの修正も含め増幅部利得 G_A および G_B を導入し、二つの定常流量の基準流量計による測定値 Q_{F1} , Q_{F2} 、二差圧演算流量計のブリッジ出力電圧 e_{BA} , e_{BB} を同時測定して、つぎの式を流量式とする。

$$Q_E = (G_A e_{BA} - G_B e_{BB})^{1/2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$Q_F = Q_E$ とおき、二つの定常流の状態を添字 1, 2 で示せば

$$\left. \begin{aligned} G_A &= \frac{Q_{F1}^2 e_{BB2} - Q_{F2}^2 e_{BB1}}{e_{BA1} e_{BB2} - e_{BB1} e_{BA2}} \\ G_B &= \frac{Q_{F1}^2 e_{BA2} - Q_{F2}^2 e_{BA1}}{e_{BA1} e_{BB2} - e_{BB1} e_{BA2}} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに G_A , G_B の右辺は定まった値であるから、この値がえられるように、増幅部 A および B の利得を決定すればよい。

なお、開平部入出力および増幅部出力はすべて最大 10V であり、測定流量の単位変換を考慮して差演算増幅部および開平演算部は 0 ~ 4.0 の利得調整増幅器とする。

4. 流量計の回路構成

管路系の流量脈動周波数は広範囲にわたる場合もあるが、流量脈動に関する報告の多くは 0 ~ 数 100 Hz 程度が多いようであるので、計画にあたり電気系で 5 kHz、圧力変換器、導圧管を含んで 0.5 kHz 程度を考える。

変換系は拡散形 4 ゲージ差圧変換器を使用し、瞬時流量および平均流量を出力および表示するので信号処理を数ブロックに分け、それぞれの特性を検査調整できるようにする。なお圧力変換器の尺度係数はブリッジ電源直流電圧を 6.00 ~ 6.01 V に安定化して固定する。

以上の方針によって図 1 に示す回路ブロックとした。

ブリッジ・ヘッド (BH) はニッケル・カドミウム電池を電源とする安定化電源およびブリッジ・バランス回路 (BB) からなる。電池は電源スイッチとリレーによって充電あるいは測定に切替えることができる。

ブリッジ・バランス回路は 10 回転ポテンシオメータ

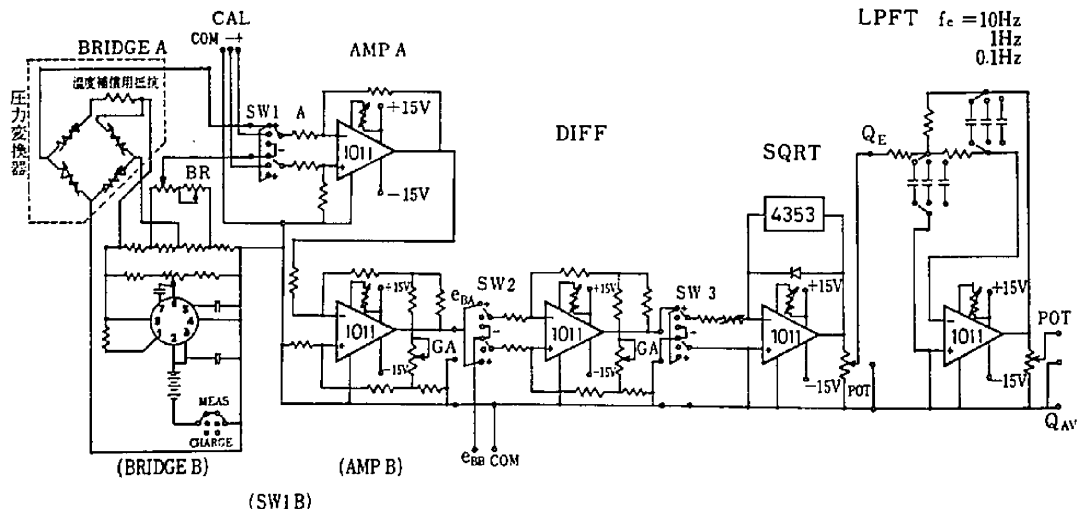


図 1 二差圧演算流量計の回路構成

10 k Ω および 200 Ω を併用してブリッジの平衡点あるいは基準点 S の調整を容易にし、表示にはデジタル目盛を採用して設定の再現性を計った。

ブリッジ出力電圧は差動増幅器 (AMP) によって利得調整を行なう。調整範囲は 500~4500 である。

ブリッジ・ヘッドおよび増幅部は A および B の二系統とし、つぎの差演算部 (DIFF) によって両出力の差を求める。利得調整範囲は 0.9~4.0 である。

開平方演算部 (SQRT) は入力、出力とも 10 V フルスケールで、符号は入力 (+), 出力 (-) となる。

低域ろ波部 (LPFT) はアクティブ・フィルタで遮断周波数 $f_c=10, 1, 0.1$ Hz の三種に切替えられる。

なお増幅部 A, B, 差演算部, 開平方演算部の出力はそれぞれ選択スイッチによってデジタル電圧計に切替えて読取ることができ、増幅部入力スイッチの CAL 位置で基準電圧を加えて、各部の調整が可能である。

差圧変換器の変換係数 $SF=\Delta p/e_B$ は予備試験によって、その値および安定性を確認し、また e_B の基準値 e_{Bs} とブリッジ・バランス抵抗 (BR) の指示との関数関係は実測値を図表にしておく。なお演算増幅部および非線型要素は TELEDYNE PHILBRICK Co. 製である。

5. 電気的特性

使用する差圧変換器 (DD102, 0.3F, 12(A) および (B), 豊田工機製) は定格圧力 0.3 kg/cm², 変換係数 SF は $SF_A=51.16\sim52.50$ mAq/V, $SF_B=60.29\sim61.19$ mAq/V と与えられているが、実測に当たっては予備試験により検定される。

試作器のブロックごとの特性および入力端から出力端までの総合特性は安定性、静特性、動特性について試験された。

5.1 安定性

増幅部 A (または B), 差演算部の回路で、増幅部利得 $G_A=G_B=1000$, 差演算部の利得 1.0 として、増幅部入力端子に時間間隔 15 秒ごとに 1 mV ステップで 0~10 mV 電圧を印加し、それぞれ出力端子電圧を記録した例を図 2 に示す。

電源投入後約 30 分で動作状態は安定し、その後各ブロックおよび総合安定性は $\pm 0.2\%$ FS (10 V) 以内であった。低域ろ波部を含めた場合も定常値の安定性は $\pm 0.2\%$ FS 以内である。

増幅部 A, 増幅部 B, 差演算部, 開平方演算部, 低域ろ波部の総合安定試験の一例を図 3 に示す。低域ろ波部の f_c は 0.1 Hz の場合で過渡状態は約 12 秒で終了してい

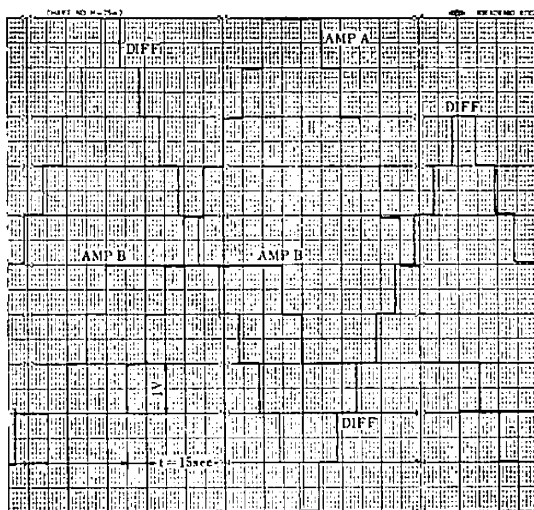


図 2 増幅部および差演算部の安定性

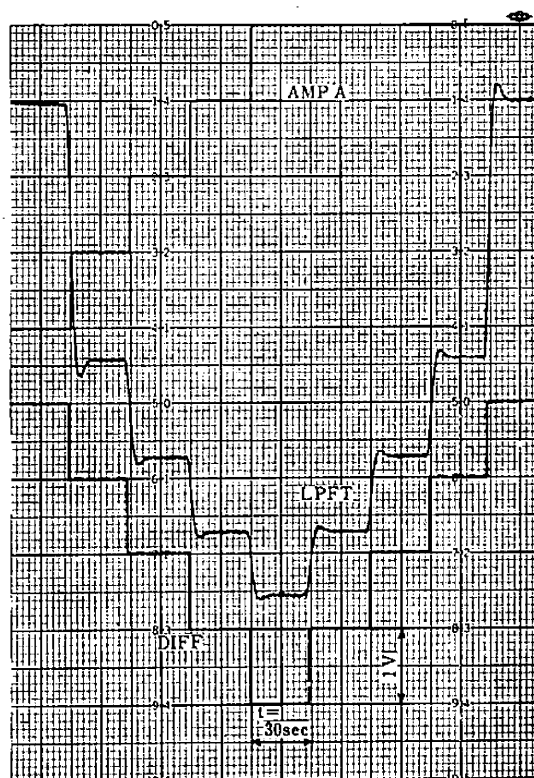


図 3 増幅部, 差演算部, 開平方演算部および低域ろ波部の安定試験結果

る。

5.2 静特性

増幅部の入出力電圧を X-Y 記録計に入れた利得特性

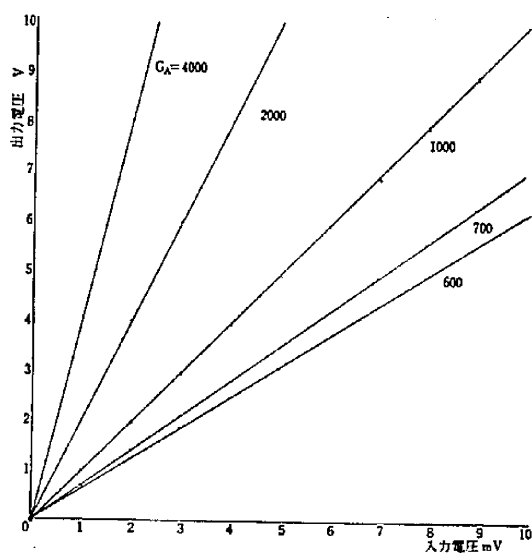


図4 増幅部利得特性

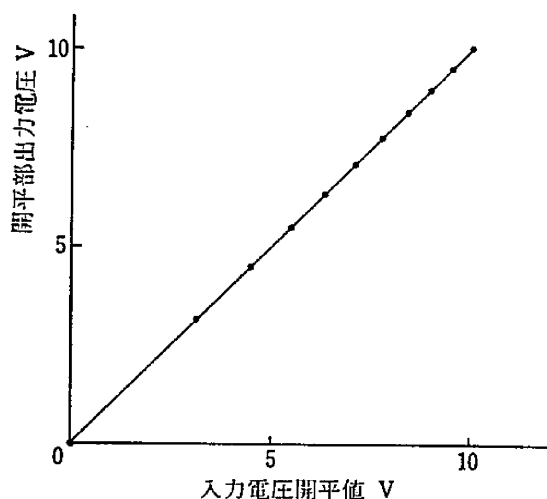


図5 開平演算部の安定性

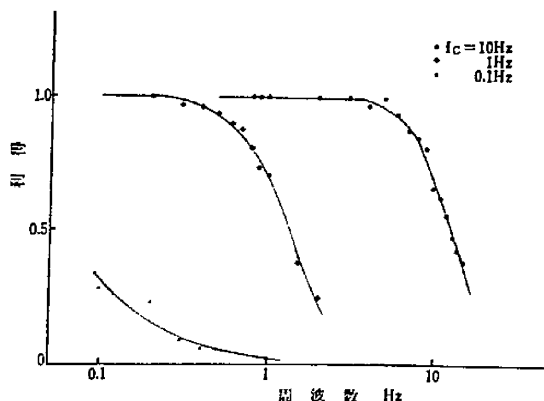


図6 低域ろ波部の周波数特性

を求めた結果を図4に示す。増幅部Aの利得を5種に設定した場合の一例で、直線性は $\pm 0.3\%$ FS以内である。

開平演算部の出力は入力電圧の開平値に対し図5のような対応を示し、極めて良好な直線性を示し、 $\pm 0.03\%$ FS以内である。

5.3 動特性

周波数特性は、増幅部入力端子に振幅5mVの正弦波と8mVの直流電圧の和を入力として与え、増幅部、差演算部、および開平演算の出力振幅を測定して調べた。

増幅部と差演算部の総合周波数特性の試験結果は、周波数0.1Hz~5.0kHzにわたり利得は平坦で、位相差は20度以内である。

開平演算部の振幅比は3kHzまで1.0である。

低域ろ波部の周波数特性の試験結果は図6に示すように、 $f_c=0.1$ Hzの場合0.1Hzで利得0.28、 $f_c=1$ Hzでは0.2Hzまで平坦、1Hzで0.71、 $f_c=10$ Hzでは3Hzまで平坦、10Hzで0.73である。 $f_c=0.1$ Hzは設計値であって、部品定数の差により利得が低下したもののと思われる。

以上を総合して、試作した二差圧演算流量計の精度は定常および非定常に対して $\pm 0.5\%$ FS以内の測定が可能と推定される。

6. あとがき

管内脈動流量の瞬時値および平均値を測定する目的で二差圧演算流量計を試作し、その測定精度を明らかにした。本流量計は、流れの加速度誤差、平方根誤差を原理的に含まず0~5kHzの応答性を持ち、広い応用分野に適用できるものと考えられる。

本研究を進めるに当たり装置製作に尽力された三谷良平、宇野美津夫両技官に謝意を表する。

文 献

- 1) 松永、黒川：九州工業大学研究報告(工学)，No. 27 (昭48-6)，p. 59.
- 2) 松永：油圧技術，14-9 (昭50-8)，p. 30.