

# 連続的キャリブレーション手法による大型動物の正確な体温測定用テレメータについて

Telemetry Transmitter with Continual Calibration for  
Precise Measurement of Body Temperatures of Large Animals

by K. R. Beerwinkle

Trans. A. S. A. E. 349 ~ 352 (1978)

大型動物の2点の体温を正確に測定し、そしてその信号を伝送する遠隔測定用発信機が開発された。これは新しいキャリブレーション手法を取り入れ、2週間以上もの間バッテリーの交換なしに $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 以内の精度で間接的に体温測定が可能なるものである。体温測定用として2個のサーミスタセンサーを用い、このユニットを動物に背負わせるように設計されている。測定された温度及びキャリブレーション信号は88~108MHz周波数帯の単一搬送波による多重送信副搬送波変調によって伝送される。テレメータの信頼伝送距離は少なくとも15mあり、牛の基礎体温測定の場合は復床下部と体深部の2点の温度が伝送される。

## 回路設計とその説明

以前のような低パワーでバッテリーの影響が出る測温テレメータではコンポーネントのドリフト、電圧変化、回路をとりまく周囲温度などの影響があり測定誤差の原因となっていた。これらの誤差を補償するために新しく連続的キャリブレーション手法をとり入れたテレメータが設計された。回路図は図1に示してあり、FM変調=発信機とそれを制御するFM発振器から成っている。SCO (subcarrier oscillator) 周波数は体温を感じるサーミスタR5, R6とキャリブレーションに使う精密抵抗R3, R4とによって変化し制御される。トランジスタQ1およびそれからなるFM変調=発信機の周波数はトリミングキャパシタC5によって標準FM周波数帯に変えられる。SCOはIC-A1, A2が使用された多調波発振器であり、その周波数はキャパシタC1と抵抗R2及びそれに直列に入っているタイミング抵抗R3, R4, R5, R6によって決まる。IC-A3, A4は約260Hzの出力周波数をもつ多調波発振器を構成している。IC-Bの出力電圧は0から+Vまでの正方形波である。IC-Cは4つの出力の各々を高い状態に上げ、他方他のものは低い状態に保つリングカウンタとして作用する。IC-Cからの出力が高い時は約1分間IC-Dのスイッチはどじる。5.6VのバッテリーはSCOと自動スイッチ回路によって利用され、1.35VのバッテリーはFM変調=発信機に使われる。

## 構成部品の選択

抵抗R2, R3, R4とキャパシタC1の各値の選択はR5, R6に使われるサーミスタの温度-抵抗特性、SCOにとつての望ましい周波数中央値及びサーミスタの温度変化とそれに関係するSCOの望ましい周波数変化などによってきまる。SCOにとつて望ましい周波数中央値は発信機出力がIRIGチャンネル1の弁別装置にも両立できるように7350Hzであり、測定温度に対してのSCOの望ましい感度は $1^{\circ}\text{C}$ につき約100Hzである。これらの回路上のパラメータが決まるにつ

れR<sub>2</sub>、C<sub>1</sub>のおおよその値が次の関係式より計算される。

$$f = 1 / 2.3 R C_1 \dots\dots\dots [ 1 ]$$

ここで f : 周波数 ( Hz )

R : R<sub>2</sub>とサーミスタ抵抗値 ( 図 1 ) を加えた値

C<sub>1</sub> : 図 1 のキャパシタンス

38℃におけるサーミスタ抵抗値は18.4KΩ、42℃においては15.8KΩになりその各々における望ましいSCO周波数は7150Hz、7550Hzである。これらの機能上有効な2点を方程式〔1〕に代入してR<sub>2</sub>、C<sub>1</sub>に関する連立方程式を解くとR<sub>2</sub> = 30.7KΩ、C<sub>1</sub> = 1239 p f が求められることになる。

### 操作理論とキャリブレーション

発信機のキャリブレーションについては次の仮定をもとにしている。

1. キャリブレーション用抵抗R<sub>3</sub>、R<sub>4</sub>の値は一定である。
2. サーミスタR<sub>5</sub>、R<sub>6</sub>の温度と抵抗の関係は一定である。
3. 他の要素が一定の時SCO周波数はサーミスタ温度と直線関係にある。

もし仮定1、2が真であれば抵抗R<sub>3</sub>、R<sub>4</sub>の値は2つの特定の温度においてサーミスタR<sub>5</sub>、R<sub>6</sub>の値と等しく、仮定3が真ならば一定時間に所定のサーミスタにより生じるSCO周波数を使って補間法からサーミスタ温度が計算される。所定のサーミスタにおける補間法の式は、

$$T = T_1 + \frac{T_2 - T_1}{f_2 - f_1} ( f - f_1 ) \dots\dots\dots [ 2 ]$$

ここで T : サーミスタ温度

T<sub>1</sub>、T<sub>2</sub> : サーミスタの引用温度

f : サーミスタのSCO周波数

f<sub>1</sub>、f<sub>2</sub> : キャリブレーション用抵抗のSCO周波数

補間法に用いる各サーミスタの引用温度は37～42℃の既知の点数を測定して求めた発信機のキャリブレーションから求め、その温度はサーミスタのSCO周波数が2個のキャリブレーション抵抗のSCO周波数と等しいような温度である。

### 操作試験

テレメータによる操作試験は種々の供給電圧や回路部品、周囲温度などのもとでSCO周波数と37.5℃～41.9℃の範囲の測定体温との直線性を決めるために行なわれる。試験方法は周囲の空気温度を0℃、20℃、40℃として、SCO供給電圧を5.4Vで一定にして操作する方法と、周囲温度を20℃で一定に保ちSCO供給電圧を5.0、5.4、5.8Vとして行方方法である。これらの両試験においてサーミスタセンサは温度制御可能な容器の中に置く。(サーミスタ温度は0.05℃の精度をもった水銀温度計で測定される水槽温度である。)観測されるSCO周波数は各々の設定周囲温度と供給電圧のもとでサーミスタ温度との関係としてプロットされ直線回帰分析は行なわれる。その時2つの方法が水槽の温度をSCO周波数に換算するのに使われる。第1には、ある一つの条件下における一定のキャリブレーション関係を用いて、あらゆる条件下の試験によって生ずるSCO周波数か

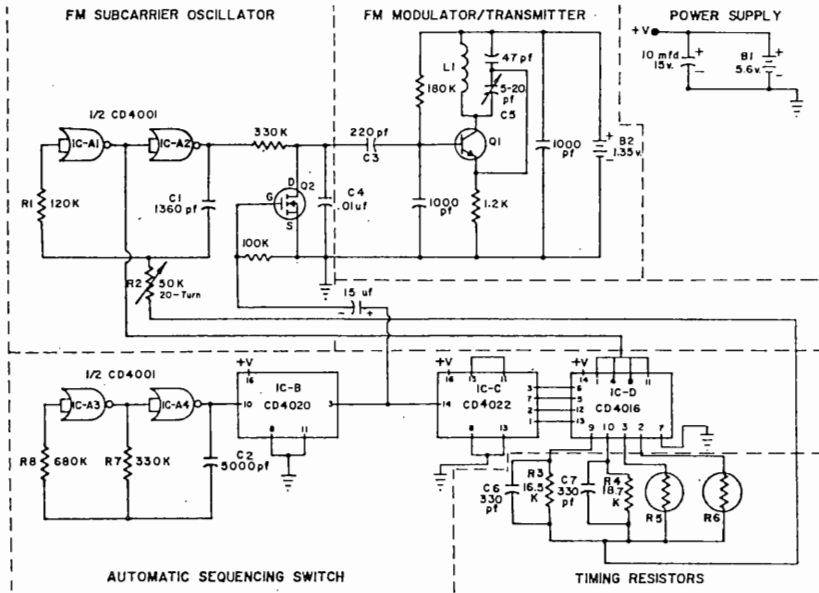
ら予測される水槽温度を計算する固定キャリブレーション手法(F・C)であり、第2の方法は該当するサーミスタのSCO周波数と2つのキャリブレーション抵抗のSCO周波数をもとにして予測される水槽温度を方程式〔2〕を使つて計算する連続的キャリブレーション手法(C・U・C)である。

#### 結果及び論考

テレメータの周波数、温度の関係を供給電圧をパラメータとして図2に示す。どの場合もサーミスタ温度とSCO周波数は高い直線性を有し、相関係数は0.99以上である。

F・CとC・U・Cの両方法によつて得られたデータを表1に示すが、F・Cの測定誤差の平均はテレメータの許容誤差範囲の0.1℃よりはるかに大きい。これに対してC・U・Cによる最大誤差は0.07℃であり精度の要求を満たしている。

(北大農学部 森田 幹彦)



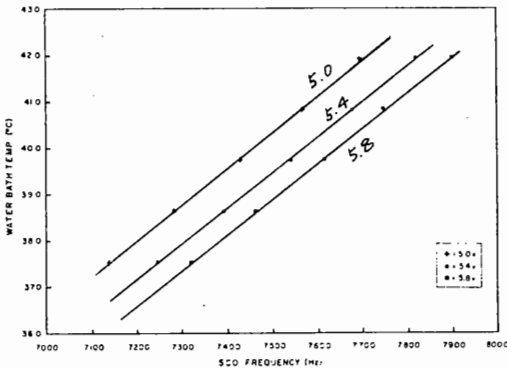
**NOTES**

Transistors — Q1—2N5179  
Q2—2N4351

Batteries — B1—Eveready E164  
B2—Eveready E401N

Resistors — 1/8-watt, 10% unless otherwise specified  
Coil—L1 Etched in printed circuit  
Capacitors — Electrolytic—15 WV tantalum  
nonelectrolytic—miniature ceramics

1 Schematic diagram of the temperature transmitter. Total current demands of the circuit are about 185uA from the +5.6 V battery, and 200uA from the 1.35 V battery.



2 Plots of SCO frequency versus water bath temperature for one thermistor probe when the transmitter was operating at 20 °C ambient temperature with positive supply voltages of 5.0, 5.4, and 5.8 V, respectively.

表 1 SUMMARY OF RESULTS FROM TESTS TO DETERMINE EFFECTIVENESS OF CONTINUAL UPDATING CALIBRATION FOR CORRECTING MEASUREMENT ERRORS CAUSED BY THE EFFECTS OF DIFFERENT AMBIENT TEMPERATURES AND SUPPLY VOLTAGES ON TELEMETER OPERATION

Ambient temperature (°C)	SCO supply voltage (V)	Average absolute value of measurement error (°C)*			
		Probe No. 1		Probe No. 2	
		F.C.†	C.U.C.‡	F.C.	C.U.C.
0	5.4	0.23	0.02	0.26	0.04
20 §	5.4	0.00	0.01	0.01	0.02
40	5.4	0.09	0.03	0.12	0.03
20	5.8	0.40	0.03	0.48	0.03
20	5.4	0.16	0.03	0.20	0.03
20	5.0	1.02	0.07	1.16	0.07

\* Average absolute difference between telemeter-indicated and true water bath temperatures of 37.50, 38.60, 39.70, 40.80, and 41.90 °C.

† F.C. refers to results obtained using the fixed calibration technique.  
‡ C.U.C. refers to results obtained using the continual updating calibration technique.

§ Test conditions used for fixed calibration and for determinations of reference temperatures T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>.