

上記の温度範囲で使用する場合の標準比熱容量を、
Table 1 に示す。

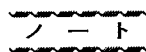
$\frac{T}{K}$	$\frac{C_p}{JK^{-1}g^{-1}}$		
	Apiezon-N grease	Apiezon-T grease	Silicone grease
80	0.543	0.560	
90	0.599	0.608	
100	0.654	0.654	
110	0.707	0.695	
120	0.759	0.729	
130	0.810	0.758	
140	0.860	0.793	
150	0.910	0.837	
160	0.961	0.890	
170	1.011	0.957	
180	1.063	1.085	
190	1.117	1.193	
200	1.177	1.24	
210	1.26	1.31	
220	1.44	1.49	
230	1.64	1.71	

240	1.76	1.81	1.41
250	1.86	1.89	1.43
260		1.94	1.44
270		1.98	1.46
280		2.02	1.48
290		2.06	1.50
300		2.09	1.52
310		2.12	1.54
320		2.15	1.56*

* extrapolated value.

文 献

- 1) E. F. Westrum, Jr., C. Chow, D. W. Osborne, H. E. Flotow, *Cryogenics* 7, 43 (1967)
- 2) A. J. Bevolo, *Cryogenics* 14, 661 (1974)
- 3) J. G. Bunting, T. Ashworth, H. Steeple, *Cryogenics* 9, 385 (1969)
- 4) Y. Takahashi, H. Yokokawa, H. Kadokura, Y. Sekine, T. Mukaibo, *J. Chem. Thermodyn.* 投稿中
Y. Takahashi, *J. Nucl. Mater.* 51, 17 (1974)
- 5) M. M. Kreitman, T. Ashworth, M. Rechowicz, *Cryogenics* 12, 32 (1972)
- 6) 東レシリコン(株), 私信。



NETSUSOKUTEI 4(2) 54-56 (1977)

フォト・カプラーを利用した温度制御装置

松 尾 隆 祐*

(昭和52年2月3日受理)

Construction of a Light-Coupled Power Amplifier for Use in a Temperature-Controller

Takasuke Matsuo*

A direct-current power amplifier has been constructed for use in a temperature controller, in which a light-coupled transistor (electro-optical coupler) incorporated in the amplifier circuit separates the potentiometric null detector from the heater circuit with respect to the electrical potential relative to the ground. This feature gives a wider choice of the grounding points and larger tolerance about the electrical insulation between the thermocouple and heater in the thermostat than is possible with a direct-coupled amplifier. By using a copper-constantan thermocouple as the thermometer, temperature stabilization within 3 mK was readily attained at 220 K. Application of the apparatus in the adiabatic calorimetry is suggested.

1. 緒 言

種々の物理化学実験において試料の温度を制御するた

めに熱電対を感温体とする制御装置がよく使われる。この種の装置では熱電対起電力をある設定値と比較し、その差に応じて負帰還ループを構成すべく試料部のヒーター電力を制御する。原理的には負帰還ループの増幅度が十分大きく、また応答速度が十分に速ければ、幾らでも精密な温度制御が可能である。しかし現実には熱電対の

* 大阪大学理学部化学教室：豊中市待兼山町1番1号
Department of Chemistry, Faculty of Science, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560, JAPAN

感度が低いことが主たる理由となつて極めて高いループ増幅度が要求され、その結果、ヒーター回路から熱電対回路への極く僅かな電氣的帰還が熱的帰還路に影響を与え、制御装置の動作を妨害することが多い。現在我々が零点検出器として使用できる市販の微小直流増幅器の多くは図1に示す構造をもち、入力端子の一方と出力端子の一方が直接(直流的に)繋がっている。従つて、もし微小直流増幅器の出力を直流電力増幅してヒーターに加える回路を作れば、熱電対は電位差計、微小直流増幅器、および電力増幅器を経てヒーターと直流的に繋がることになる。熱電対の回路が $1\mu\text{V}$ 程度の微小電圧をとりあつかい、他方、ヒーターには 10V 程度の電圧で $0.1\sim 1\text{A}$ もの電流が流れることを考えると、それらが直流的に共通の電位を基準として動作しなければならないという制約は電氣的絶縁と接地点に厳しい条件を付けることになり、サーモスタットの構造が複雑であれば、その実用化に細心の注意が要求される。この問題は負帰還回路中のどこか一ヶ所でその前後を直流的に分離すれば解決されることが意識され、幾つかの電氣的あるいは機械的な工夫が報告されている^{1)~3)}。従来の電磁石リレーもこの目的に適っているが動作が断続的である点で好ましく

ない。

最近フォト・カプラーと呼ばれる半導体製品が市販されるようになった。これは 1cm たらずのモールド中に発光ダイオードとオープンベース・トランジスターを対向させたもので、発光ダイオードを流れる電流によってトランジスターの電流が制御される。信号はモールド中で光に変えて伝えられるのでダイオード側とトランジスター側の電位は全く独立に定めることが可能である。この働きは温度制御系で我々が求めていた機能そのものであるから、この素子を取り入れた電力増幅器を試作し、テストを行った。その結果、良好な動作機能をもつことが見出されたので、他にも応用の途があり得ることを考えてここに報告する。

2. 実験とその結果

回路構成の概略を図2に示す。すなわち、微小直流増幅器からの信号を汎用リニア集積回路741で増幅し、フォト・カプラーTPL-503の1次側に入れる。TPL-503の2次側ではエミッターから信号をとり出して再び741で増幅したのちパワー・トランジスター2SD111で電力増幅し、その負荷としてサーモスタットのヒーターを接続する。図中3つの電源(A), (B), (C)はアースから浮かせ、また、相互に独立であることが必要である。これらは市販の適当な小型電源トランスと3端子レギュレーターと通称される定電圧素子を使って簡単に作られる。

図3に本装置による温度制御の様子を示す。これは低温誘電率測定セルの温度を一定に保つために用いた例である。すなわち、銅・コンスタンタン熱電対と電位差計(横河電機2722型)で測温し、零点検出器(大倉電気AM1001B型)の出力を図2の電力増幅器を経てヒータ

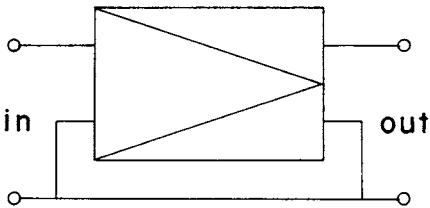


Fig. 1 Schematic diagram of a typical microvolt amplifier.

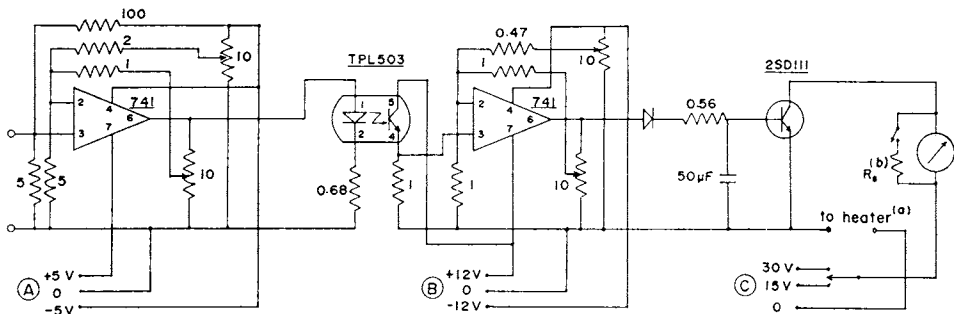


Fig. 2 Circuit diagram of the light-coupled power amplifier.

Remarks;

(a) Appropriate value of the heater resistance is $30\sim 150$ ohms.

(b) The shunt resistance R_s should be equal to the internal resistance of the ammeter.

All the other resistances in the figure are in kilo-ohms.

The power sources (A), (B) and (C) must be floating from the ground and from each other.

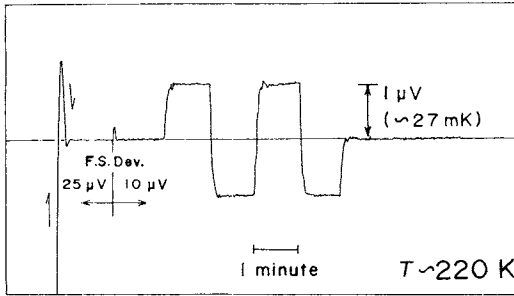


Fig. 3 Recorder trace showing the performance of the temperature controller.

ーに帰還させた。同図は零点検出器の出力を記録したものである。図中、初期に温度が急上昇しているのは新たな設定温度への接近を示し、温度はその後僅かにオーバーシュートしたのち設定値に速かに収束している。それに続く方形波状の変化は電力増幅器の零点調整によって平衡温度を熱電対起電力にして $\pm 1 \mu\text{V}$ だけ変化させた結果である。 $1 \mu\text{V}$ は約 27 mK に相当する。ヒーター電流は平衡時に 200 mA 、降温時に 0 、昇温時に 400 mA であった。なお、熱電対とヒーターおよびそれらのリードは通常の絹巻線であり、電気的絶縁に何ら特別の工夫は要せず、また回路のいずれの点も接地する必要はなかった。図のノイズ・レベルから見られるように、 3 mK 以内の温度制御が容易に行われる。測温精度については、言うまでもなく熱電対の校正の良否が決定的に重要であり、また、試料部の温度分布と応答の速さにはその熱的な諸特性が主として関与する。

以上に述べた装置は、直流増幅の簡便さと帰還ループを直流的に分離したことによる安定性を兼ね備えており、作りやすさと使いやすさの点でさしあたり満足すべきものと思われる。また、良好な電気絶縁材が得難くなる高

温においても役立つであろう。さらに、PID ネット・ワークを組込むことによって熱量計の断熱ジャケットの温度制御用として差動的に利用することが可能であろう。

3. 終 り に

市販の微小直流増幅器は殆んどすべてチョッパ型である。従って、入力変成器、あるいは、それ以降の適当な段階で入力と出力を直流的に分離することが可能ならずである。このような増幅器が迷起電力対策と接地点の選択の上で非常に便利であることは20年以上も前に指摘され、実際に試作された⁴⁾。しかし現在ある市販品は必ずしもそのような構造をもたない。これには何か技術的な理由があるのであろうか。もしこのような市販品があれば、ここで引用した幾つかの工夫とともに本稿も不必要であったはずである。

謝 辞

大阪大学理学部関集三教授ならびに菅宏助教授は高精度熱測定による研究を通じてこの種の装置の必要性和意義を御示唆下さった。また同学工作センター井沢、岩本両技官は装置の製作にあたり助言を下された。ここに記して謝意を表したいと思う。

文 献

- 1) E. F. Westrum, Jr., G. T. Furukawa and J. P. McCullough, "Experimental Thermodynamics", vol. 1, p. 133 (Butterworths, London, 1968).
- 2) F. Grönvold, *Acta Chem. Scand.*, 21, 1695 (1967).
- 3) D. L. Martin, L. L. T. Bradley, W. J. Cazemier and R. L. Snowdon, *Rev. Sci. Instrum.*, 44, 675 (1973).
- 4) T. M. Dauphinee and S. B. Wood, *Rev. Sci. Instrum.*, 26, 693 (1955).