

全天候型高性能低価格電界計の製作

小林勝司^{*}、福森 勉^{**}

要旨：

電力供給に支障を来す事故原因の中では、電力施設への雷害が大きな比率を占めており、雷害を予測・予知できれば極めて有効な対策を施すことが出来る。雷雲の襲来時にどのような環境条件で対地雷放電が発生するか等の研究をする上で、急激な変化を観測するためには通常静電スローアンテナ等が用いられ、我々は電界観測用静電スローアンテナを製作し提供してきた。しかし、全天候型電界計があればより多様な情報を得られ研究の質の向上が図られるとの事から安価な全天候型電界計の製作依頼を受けた。市場価格の1/10程度の費用で市販装置の性能を上回り、なおかつ商用交流電源の有無に依拠しない全天候型電界計を製作した。

1．まえがき

冬季雷観測のために静電スローアンテナを製作し急激な変化を観測してきた。しかし、より多くの位置情報と絶対強度等を得るためには、静電スローアンテナと組み合わせ多点観測を行う必要がある。このため、観測精度向上に全天候型電界計が複数台必要となった。しかし、市販されている全天候型静電場測定器(電界計)は高価である上、据置型は商用交流電源で動作させる形態が多く、商用交流電源から離れた地点での観測に不向きである。高性能全天候型静電場測定器の複数台確保は研究室財政事情から経済的に困難である。我々は、安価でしかも市販の装置と同等以上の性能向上を図りつつ電源の自由性を持たせた回転セクタ方式全天候型電界計を製作することとした。

2．製作装置の仕様

測定範囲：電極面から1cmの電場電位を表示

±100V/cm、±300V/cm、1KV/cm、±3KV/cm 各 F.S.

測定方式：回転セクタ方式

出力：±0.5V/FS、出力インピーダンス約100

精度：各フルスケールの5%以下

校正：内部校正電源、電極による校正。(測定電極面と1cmの距離で校正電圧を印加する)

倍率端子：目盛倍率を指示する出力

(±100V/cm = 0V、±300V/cm = 1V、1KV/cm = 2V、±3KV = 3V、CAL = 5V)

電源：交流100V(50/60Hz)及び蓄電池(24V)

寸法：センサ部(FE) 約150(W)×150(D)×240(H)

本体表示部(BE) 約260(W)×100(H)×280(D)

*電子・情報技術系技術長

**工学部・材料技術系第1技術班技術主任

3. 装置の概要

3.1 装置のしくみ

回転セクタ形静電気測定器は、静電界を回転セクタにより交流化して、電界とその極性を測定できるが、この方式の静電気測定器は高感度で安定であり、静電界の時間的変化を迅速に追跡測定できる点で優れていることが知られている。回転セクタ形静電気測定器の原理は、図1に示すように、金属板の測定電極1が、電気絶縁体2で接地電位の測定器ケース3から、浮いて支持されており、その前面に接地電位にある金属セクタ4がモータ5により定回転し、測定電極1に静電誘導で電位eを誘起する静電界を定周期でしゃ断することにより、測定電極1には定周期の交流化した電位が生じ、これを増幅器6で増幅し検波して電圧計7で測定する方式である。

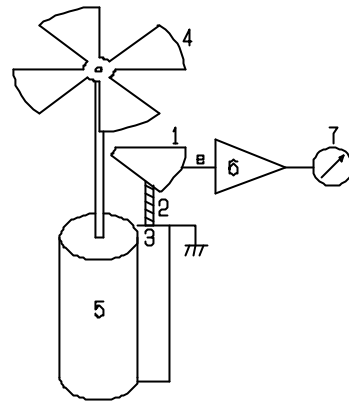


図1 原理構成図

3.2 センサ部セクタ駆動系

セクタ駆動サーボ系を図2に示す。駆動モータとして定格電圧DC24V、定格回転数1500rpm、定格トルク0.2Kgf・cm、定格出力3Wを有する日本サーボ(株)製SERVEX typeEを用いた。速度制御は、モータドライバよりSPEED信号(回転数に比例して出力)として出力されるパルス列を、V/FコンバータIC「LM331」を用い周波数/電圧変換する。周波数/電圧変換された電圧を極性変換並びに特性変換し、再度モータドライバの速度設定信号入力端子(VS)に加えることで制御している。モータの速度設定は、 $(r/min) / V = 300$ の式で与えられており、1000回転/分とすると約3.3Vを与えればよいことになる。この時のSPEED信号は約7.5KHzである。このモータドライバには、保護機能として過負荷保護回路が組み込まれており「モータに定格トルクを越える負荷が約5秒以上加わったとき」動作しモータが停止すると共にALARM信号を出力する。保護機

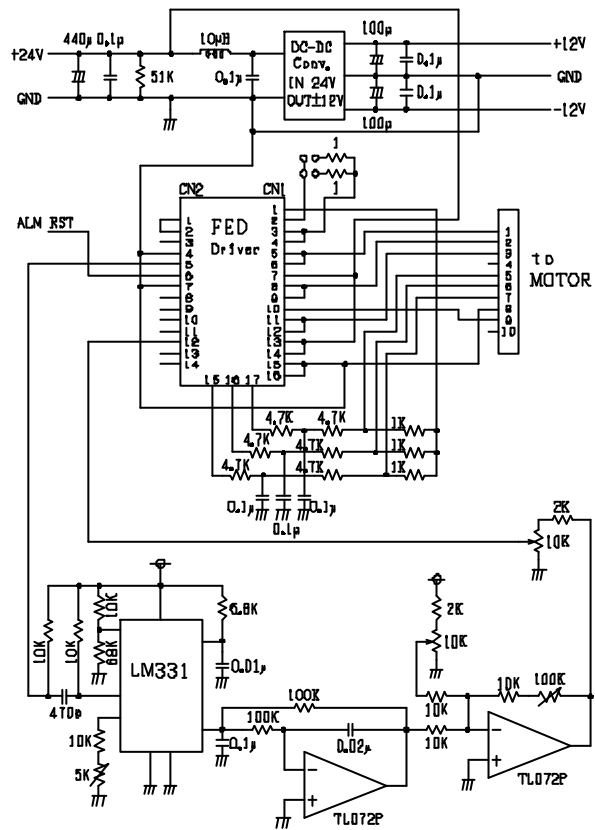


図2 センサ部セクタ駆動系回路図

能を動作させるための電流検出用抵抗は、定格では 3W(0.2Kgf·cm)で 0.33 と指定されているが、我々は軽負荷であり、砂、昆虫、動物、その他の要因で保護回路が動作するよう 1 (0.07Kgf·cm)で使用している。この保護機能を解除するには、別途アラーム解除信号が必要となる。

3.3 センサ部測定回路

測定電極を支持する電気絶縁体において、電極と接地との間に中間電極を設け、電極から接地に流れる漏れ電流が必ずこの中間電極を経て流れる構造とし、演算増幅器との組み合わせにより、この問題を解決している。図3は、この構造と回路の原理図であり、回路の入力に中間電極を介して正帰還を施し、入力インピーダンスの上昇を図る方法をとっている。測定電極を支持する電気絶縁体の電気抵抗を、中間電極 P の上下に二分して考え、 R_1 、 R_2 とし、中間電極 P には、回転セクタの定回転数で定まる使用周波数に対して十分大きい結合コンデンサ C_f を通じて正帰還電圧を与える。演算増幅器の増幅利得を A とすると

$$A \gg 1$$

であり、このときの実効的な入力インピーダンスは

$$Z = \frac{R_1}{1 - (A/1 - A)}$$

で与えられ、非常に大きな値となる。このことは、 R_1 が極めて高抵抗になったのと同意味となる。このときの帰還の位相は、入力と同相であることが必要で、正帰還でなければならない。

雨滴や埃等の汚れによる電極間抵抗の低下に伴う回路測定感度の低下を防ぐために入力抵抗の変動に安定な回路が必要となる。図4にその回路を示す。

センサ部増幅回路には、入力抵抗の変動に安定な回路と高入力抵抗回路を組み合わせ用いている。センサ部増幅回路は、交流的には等価的に高帰還抵抗をとり、直流的には演算増幅器の安定範囲の低い帰還抵抗となる回路である。図5にセンサ部測定回路図を示す。一般に同期信号を用いた位相検波回路(PSD)により不規則外来雑音の

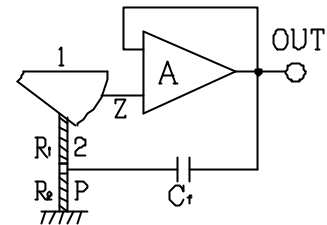


図3 中間電極 P を用いた回路

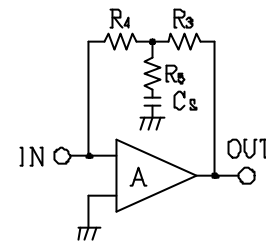


図4 入力抵抗変動に安定な回路

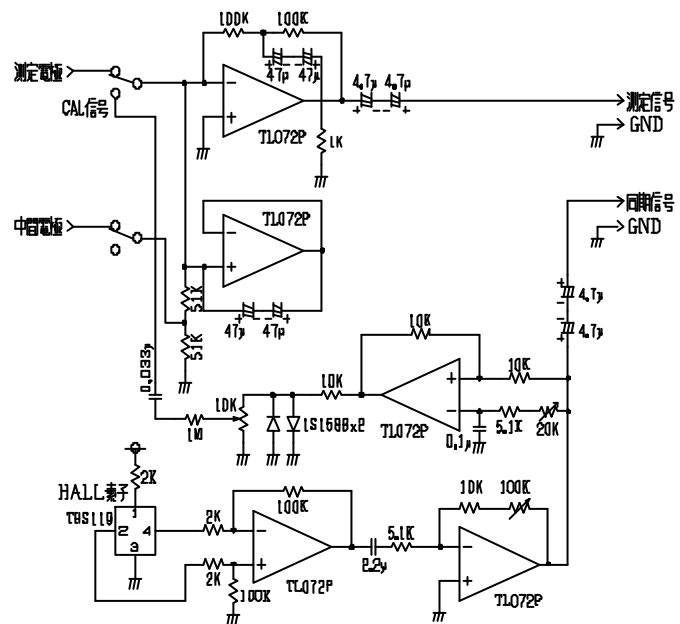


図5 センサ部測定回路

除去が出来ることが知られており、正、負の極性判別も可能となることから同期信号をホール素子を用いて作っている。同期信号は回転セクター軸上に小型マグネット4ヶを取り付けホール素子に信号変化を与えている。信号は増幅された後、本体表示部に同期信号として送られると共に、移相器を介して同期をとった後、波形成型し校正用信号として用いている。本体表示部(BE)との電力供給並びに信号伝達は、複合ケーブル(ビデオ機器用)を用い、接続は防水コネクタ介して行っている。

3.4 本体表示部出力回路

表示部は、交流増幅部と同期信号増幅・移相回路と同期検波回路並びに電源から構成されている。交流増幅部は帰還抵抗を可変する事で倍率の変更をしている。センサ部から送られてくる同期信号は増幅器、移相器を経由し波形成型された後、同期検波を行うアナログスイッチに送られる。同期検波された測定信号は、フィルターを通して出力増幅器に送られる仕組みとしている。また、出力電圧がコンピュータに取り込まれることを想定して倍率変更に伴う認識信号として RANGE SIG. を出力するようにしてある。倍率変更ロータリーSWを選択し自己校正を行う場合、センサ部に同期信号を波形成型した校正信号を入力する。この際、校正時に信号経路を切り替えるためのリレーを動作させる信号が必要になるが、倍率変更並びに RANGE SIG. 出力とリレーの切り替え動作を「2回路6接点」のロータリースwitchで操作できるように工夫した。電源は商用の交流100V(50/60Hz)と鉛蓄電池の使用も可能としたほか、鉛蓄電池への充電回路も組み込んである。本体表示部(BE)の回路図を図6に示す。

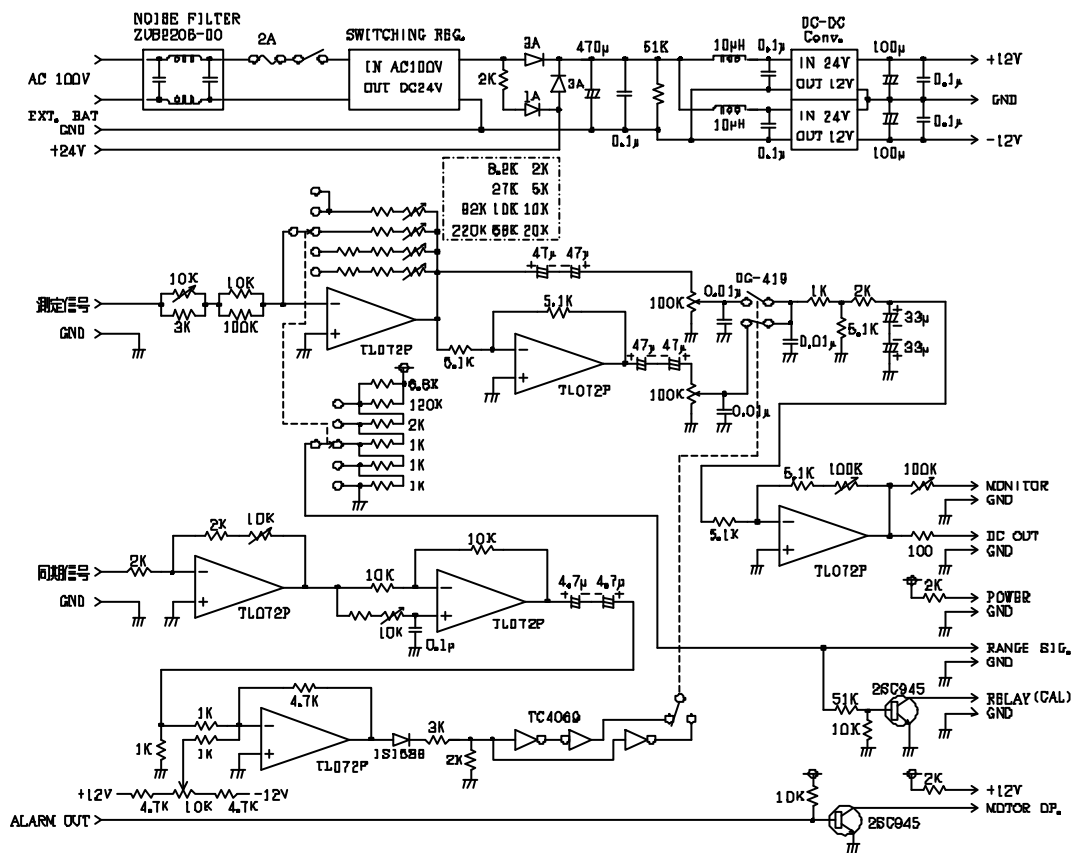


図6 本体表示部(BE)の回路図

4 . 製作した装置並びに試験結果

製作した装置の内、センサ部(FE)の外観図を写真1に示す。また、センサ部内には、モータ駆動回路系と測定信号回路系は一つのプリント基板に納められ写真2の様になっている。また、本体表示部(BE)の外観を写真3に、内部に格納された電源と出力回路系電気回路基板等を写真4に示す。なお、プリント基板で製作した測定電極のマスク図とステンレス製金属セクタの写真も写真5に示す。測定電極は積層銅板をエッジングした後、旋盤で円形に整形し10mm厚のベーク板に2mmの皿ビスを用いて固定している。周辺をシリコンゴムで充填すると共に全面を防湿防錆用コーティング剤で処理してある。測定電極の感応面積は501mm²である。金属セクターは1mm厚のステンレス板を用いている。金属セクタは4分割してあり直径は80mmである。



写真1 製作した電界計センサ部の外観

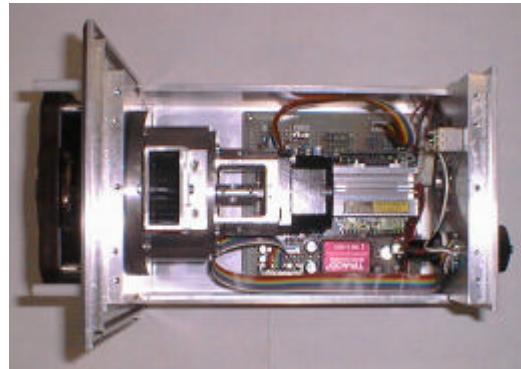


写真2 モータ駆動回路並びに電気回路基板



写真3 製作した電界計本体の外観

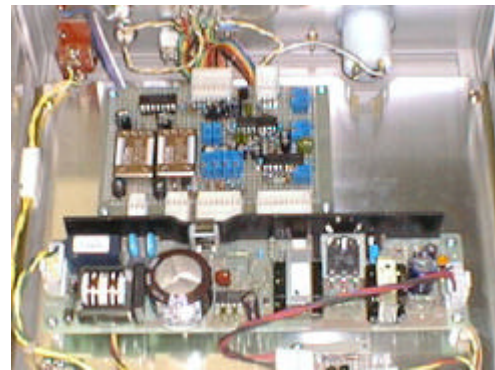


写真4 電源部及び出力部の電気回路基板

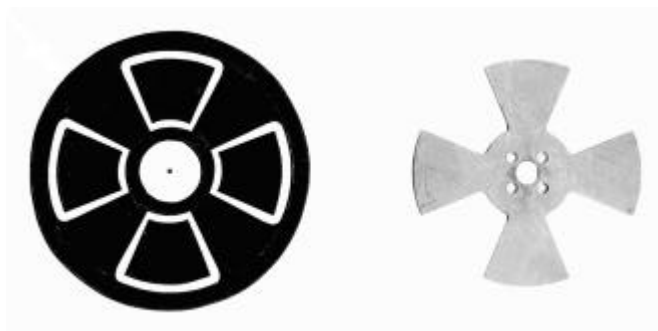


写真5 測定電極プリント基板マスクと金属セクタ

試験結果を下記に示す。

1)出力電圧

RANGE	入力(V/cm)	出力電圧(V)	入力(V/cm)	出力電圧(V)
100	+100	+0.500	-100	-0.501
300	+300	+0.499	-300	-0.502
1K	+1K	+0.501	-1K	-0.502
3K	+3K	+0.500	-3K	-0.502
	規格	+0.5V±5%	規格	+0.5V±5%

2)指示計誤差

RANGE 1KV / cm

入力(V/cm)	-1K	-600	0	600	+1K
指示値	-0.990	-0.595	0	+0.595	+0.990
誤差	±5%				

RANGE 300 / cm

入力(V/cm)	-300	-200	-100	0	+100	+200	+300
指示値	-295	-195	-96	0	+102	+205	+300
誤差	±5%						

5 . まとめ

低価格でしかも市販製品以上の性能を目指して製作したが、部品代は2台で約40万円で済み、市場価格が約300万円相当の装置をモデルに、新たな創意工夫を取り入れ性能的にも満足するものが出来たと自負している。大学の研究室段階では、研究予算もままならない状況下であり技術職員として可能な限り装置製作を中心に教官を支援して行くことで技術職員の存在価値を認識されれば幸いである。

謝辞

この装置製作に関して、工学研究科電気工学専攻松村年郎教授並びに(株)トーエネック FS 研究所箕輪正幸氏には多大の援助を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1)高分子学会編 静電気ハンドブック (株)地人書館 「静電気による事故防止と産業応用の方策」
- 2)電気学会編 電気工学ハンドブック
- 3)電気学会技術報告(部)第278号「最近における雷研究の動向と問題点」
- 4)櫻野仁志、鬼頭幸生、五十住晋一、才田敏之 「'91 北陸地方冬季雷の対地雷撃地点に関する一仮説」
T.IEE Japan, Vol. 111-B, No.1,
- 5)トランジスタ技術 SPECIAL No.32 特集 実用電子回路設計マニュアル