

雷観測記録装置の研究 (IV)

— 近距離用空電波形記録装置 —

石川 晴 治 高 木 増 美

I. ま え が き

雷放電の機構を明らかにするためには、雷放電に伴う光学的或は電磁氣的現象をなるべく多くの角度から研究することが特に大切であるので、雷観測装置の一つとして雷放電より放射される空電波形の記録装置が必要となる。然しこの目的に役立つ資料となるための空電波形は発生源から観測点に到る途中の伝播中に受ける変形が少なく、従って空電発生源の電磁氣的変化の状態がそのまま表わされていると考えられる近距離からのものが記録されなければならない。ここに述べる記録装置では、観測地点から凡そ 100 km 程度以内に発生した雷放電より放射される空電波形を忠実に再現できる様に考慮したが、もちろん他の雷に伴う現象の記録装置、例えば雷光写真や静電界強度変化の記録などとの対応が容易に取り得る様な考慮をはらう必要がある。

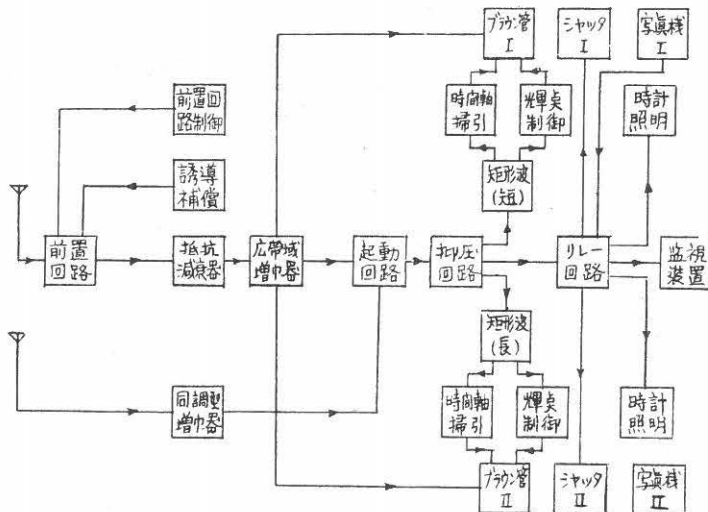
空電の波形記録装置については、当研究所においても従来より種々試作されている。(1)(2)(3) 併しこれらでは何れもその記録の対象とするものが空電源方向探知装置との関係もあって遠距離において発生した比較的強度の弱い空電であるから、吾々が目的としている様

に近雷の際の空電波形を記録して、これから雷放電の構造、空電発生機構を解析しようとするためには種々不都合な点があった。又雷雨時の観測をより多元的に、より容易にするためにも、種々の附加装置の必要が痛感されたので、新にその目的に適合した装置の試作を行った。

II. 構 成

この空電波形記録装置の構成は、根本的には従来当所で製作されている波形記録装置と全く同種の原理に立ち、主要部は同様な回路構成をとっている。(3) 即ち第1図の構成図にある様に、アンテナに誘起された電界変化の強度に比例する電圧の変化を、広帯域の増幅器を通し至少く増幅し、これを記録ブラウン管の縦軸に加え、同時に波形受信開始に同期して、通常は消してあるブラウン管の輝点を出し、又時間軸掃引のための単一鋸歯状電圧を発生して横軸に加える。かくしてブラウン管面に電界の時間的变化即ち空電波形が至少く再現される。この波形は 35 mm フィルムに1個ずつ記録されて解析に使用される。

第1図 装置構成図



この装置では掃引速度のみが異なる2個のブラウン管系があって、同一空電波形の詳細と全貌を同時に記録することができる。これは2種の波形記録それ自体においても、或は他の雷観測装置の記録との対応においても解析上非常に有効である。

この輝点と掃引の起動は通常は上述の現象偏向のための広帯域増幅器の出力により行っているが、この他に近雷に際して放射される有効な周波数成分を調べ、適宜に波形の種類を選択ができる様に、高周波同調型の増幅器の出力によって行うこともできる。

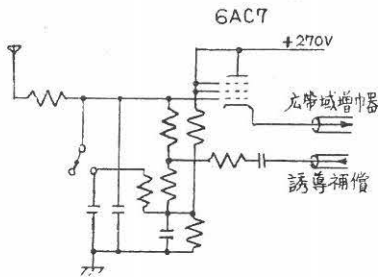
その他、以上の様な2素子の波形記録を容易に行うためと、他の雷観測装置との連動操作のための附加回路がある。

以下各部の詳細を述べよう。

III. アンテナ及び前置回路

空電受信アンテナは室外にあり、これを約15m離れた室内の記録装置本体まで結合するために、アンテナ直下に前置回路を設け、カソードフォロワー1段をおき、その低インピーダンスの出力をケーブルで室内に導いて誘導妨害を軽減している。回路は第2図に示す通りである。

第2図 前置回路



アンテナは垂直で高さ約4m、頂上に強電界時の尖端放電を防止するために直径約10cmの金属球をと

りつけてある。アンテナの下端は、アンテナ系を非振動的にするための小抵抗を通してカソードフォロワー接続になっている初段真空管のグリッドに導くと同時に、蓄電器で接地する。アンテナ系の全容量は40PFにえらんであるから、接地蓄電器を0.004μF又は0.4μFにとると、初段のグリッドに加わる電圧は、アンテナ誘起電圧より夫々40db又は80db減衰する。初段の無歪最大入力は約30V(以下電圧、電界強度の値は何れもpeak to peakの値で示す)であるから、アンテナの実効高を2mと推定すれば、夫々最大 1.5×10^3 又は 1.5×10^5 v/mまでは飽和することがない。しかし実際の測定可能な最大電界は後述する様にブラウン管面の最大偏向に依って限定されるので、約 5×10^4 v/mであるが、落雷時に観測された静電界変化は報告されて居る所によると最大数万 v/m程度であるから、⁽⁴⁾ 普通規模の雷雨の際の強い電界変化に対しても常に測定が可能と思われる。

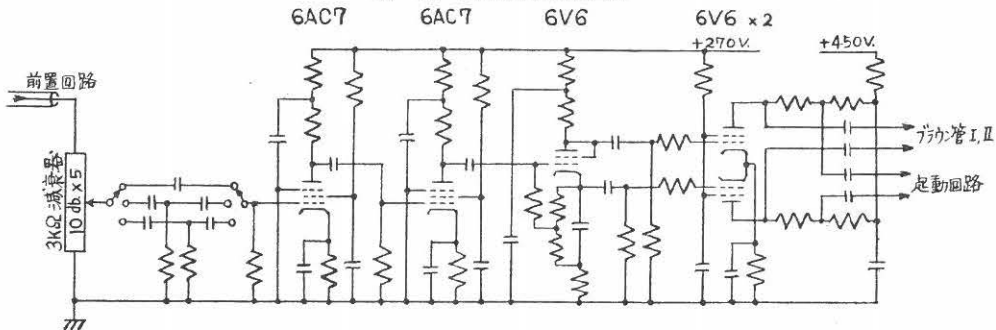
接地蓄電器の切換は室内からリレーで操作することができる。切換に際しては、アンテナ回路の低周波特性が変化しない様にリーク抵抗を同時に切換えて時定数(40ms)が変化しない様にしてある。

又観測地点を特に誘導雑音の少ない場所に求めることは一般に困難であり、普通の場合では、アンテナ系に電力線等からの誘導がかなりあり特に利得をあげた時は相当の妨害となり、波形の記録を不可能にするので、装置本体に誘導電圧の補償回路を設けその出力を前置回路まで導いてリーク抵抗の中間に加えている。その振幅と位相を観測の都度調節すれば、基本波に対しては充分な補償ができる。高調波に対する補償は行わなかったが、大抵の場合は測定に大きな支障を与えるほどではなかった。

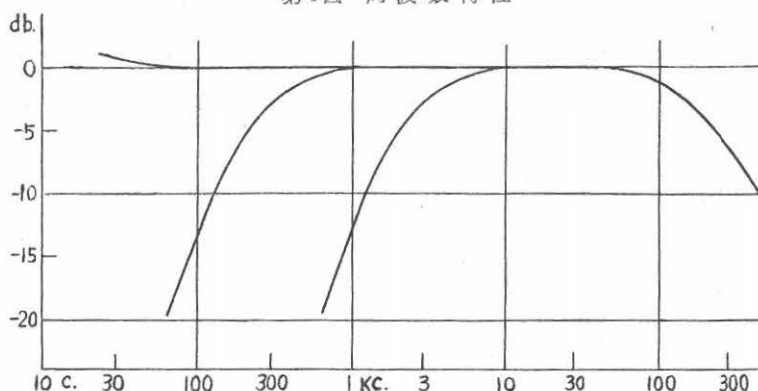
IV. 増幅回路

増幅器は第3図に示す様にCR結合2段増幅後、

第3図 広帯域増幅器回路



第4図 周波数特性



ブッシュアップ増幅して記録ブラウン管の偏向板に導かれている。増幅器は広範囲な周波数成分をもつ空電の波形を至少く再現するために広帯域でなければならない。このため低周波特性に対しては段間結合の時定数を大きくする(100 ms)と共にプレート負荷に直列に抵抗と容量の並列回路をそり入し、その定数を適当にえらぶことによって位相と利得の補償を行った。低周波以上においてはこの回路は各増幅段間の減結合回路として働く。高周波特性に対しては、浮遊容量を極力減少せしむる様に注意し、カソード抵抗に小容量を附加して高周波においてのみ負荷容量を減少せしむる様にした他は、特別にピーキングによる特性の改善は行わなかった。この装置に現用している最高2 msの掃引では、50 kc程度以上の周波数成分を記録波形上で判別することは殆ど不可能なので、この程度の特性で充分である。得られた周波数特性は第4図に示す様に30 c~100 kcに亘って平坦である。

前置回路をも含めた増幅回路の全利得は約80 db, 最大無歪出力は約400 Vを得ている。この出力が偏向板に加えられるが、現用ブラウン管120 E-B1の偏向感度は25 v/cmであるから、ブラウン管面の像は充分に無歪である。従って、管面の最大偏向に対する増幅器入力端の電圧は約30 mV必要である。

利得の変化はケーブル引込直後に設けた3 k Ω の抵抗分割型の減衰器によって0 dbから50 dbまで10 dbおきに切換え得る。この3 k Ω の抵抗は前置回路のカソードフォロワーの負荷になっている。この様にしてアンテナ系をも含めた総合利得は大凡+40~-50 dbに亘って使用することができる。従って記録可能な空電の電界強度は0.3 v/m(最大利得にて1/5偏向)乃至 5×10^4 v/m(最小感度にて全偏向)である。従来の観測結果によれば、至近距離から大体数百 km程度まで

の空電に対しては一応支障なく記録できる様である。

抵抗減衰器直後には簡単なCRによる高域濾波器を附加し、必要ある際は適宜にそり入できる様にした。その遮断周波数は200 c及び2 kcで切換えて使用できる。これは近雷の際には緩慢な静電界の変化が優勢なので、急激な放電過程による高周波成分のみを含む変化を記録したい時などに有効である。

以上の増幅部分に拾う種々の妨害雑音は直ちに記録波形に現われるので、前置回路から増幅器終段までの電源には特に注意を払い、高圧電源は安定化し、ヒーターは全真空管を直列につないで直流で点火している。

V. 起動掃引回路

1. 起動回路

起動回路は一定振幅以上に達する空電入力があった場合に始めて動作して、輝点制御と時間軸掃引の電圧を発生するための起動パルスを作る。起動のための空電入力は電圧偏向が正負何れであっても動作を開始し得るし、又起動レベルも5段階に分けて行うことができる。

この起動方式によって記録される波形は特別に現象偏向電圧に対する遅延回路を設けない限り、必ず若干波形の立ち上りが切取られる。起動回路自体による遅れは高々数 μ s以下と思われるが、空電電界強度が一定の起動レベルに到達する迄の時間は、波形の種類によってはかなり大きいものとなることを覚悟せねばならない。

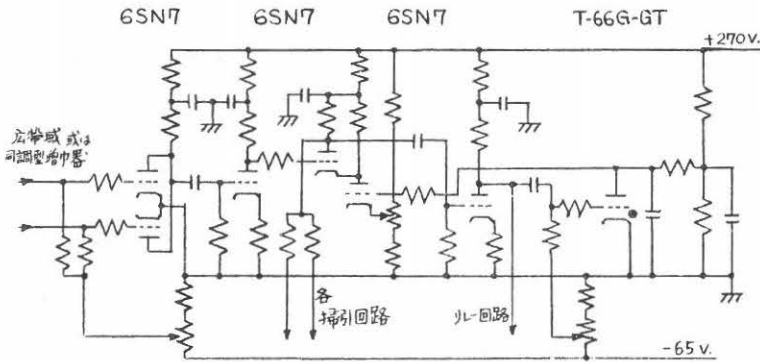
上述の様に、この起動を行うための空電入力としては、通常は偏向板に加える広帯域増幅器の出力電圧の一部をもってしているが、高周波同調型増幅器の出力に切換えて行うこともできる。この同調周波数は

100 kc, 1 Mc 及び 10 Mc の 3 種である。これによる起動は特に近雷に際し、雷放電の放射する有効な周波数成分を調べ、適宜に周波数による記録波形の種類を選択を可能にする。(5) 但しこれらの同調型増幅器の帯域幅は何れも約 10 kc になっているから、広帯域増幅器の出力による起動よりも更に 100 μ s 程度の遅延があると考えられる。即ちこの場合の記録波形は先頭が約 100 μ s 程度切り取られることを意味するが、起動レベルに到達するまでの時間による波形の記録開始の遅れは、波形の種類により異なるが、一般的に

云ってこの遅れに比較すれば前述の場合の遅れは少いであろう。

併し以上の記録波形の遅れさえ覚悟すれば、数百 μ s 以上の継続時間を持つ様な波形、例えば少くとも数 ms 以上は続くと思われる先駆放電による波形を特に記録したい時などには有効であると思われる。しかし現在までの観測では特に 10 Mc の高周波において適当な雷雨に遭う機会の少いたためもあって十分にその効用を験すに至っていない。

第5図 起動及び抑圧回路



2. 抑圧回路

特に雷雨時においては、1回の放電の継続時間が長く数百 ms にも達することがあるので、これを 2 ms とか高々数十 ms 程度の掃引で記録する場合には、1回の放電中に数回、時には 10 回以上も起動のかかることがあり、(6) 記録された空電波形像は多数が重なるので、解析が充分に行い得ないうらみがあった。勿論多数回の掃引が記録されたことから、その様な起動を起す空電の性質の一部を推定できる利益はあるけれども、(6) これは本来は長時間掃引の記録波形にまつべきものであり、多重撮影のために波形の微細を調べ得ない損失の方が大きい。これを防ぐためには、一度起動がかかると、以後一定時間内は起動が再びかからない様に抑圧する回路の必要が認められる。この回路は第5図に示されている如く、最初の起動パルスによって負の矩形波を作り、この矩形波の継続時間中は後続の起動パルスが後段に加わらない様になっている。動作を確実にするために、起動回路からのパルスは空電入力の大いさによらずその振幅を限定している。

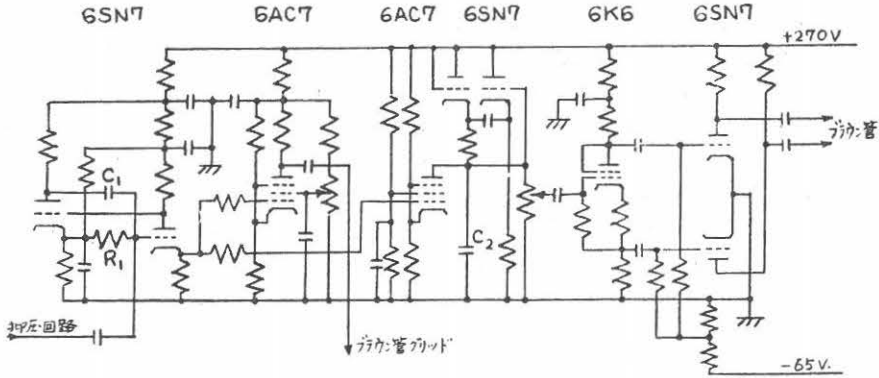
後述する様に、記録機のシャッターの動作時間は時には 1 秒程度にとることがあるので、この程度以上の時間の起動抑圧が適当である。

3. 輝点制御及び掃引回路

記録ブラウン管の輝点は波形到来を待つ間のフィルムのかぶりを少なくするため通常は消してあって、起動パルスがあって始めて輝点を出して波形像を画かしめる様になっている。これはブラウン管のグリッドに掃引時間に等しい継続時間をもつ正の矩形波電圧を加えることによって行っている。

同一空電波形の全貌と詳細を同時に記録解析することは、波形自体の比較においても、又高速及び低速の雷光写真機や静電界強度記録機との対応をとる際の効用とも相俟って放電機構の研究に特に有力なので、出来得れば掃引時間の異なる数素子の波形記録が望ましい。この装置では経費と操作の都合上最低限二系統の記録方式をとった。即ち輝点制御と時間軸掃引の時間が 2 ms と 20 ms, 60 ms 切換との二系統で、全く同一の回路方式になるものを二系統並列に動作させている。この回路を第6図に示した。抑圧回路からの負の起動パルスを単撃マルチパイプレーター回路に入れ、カソードから負の矩形波を取出している。この矩形波を 1 段増幅反転してブラウン管のグリッドに導くと共に、これから単一鋸歯状波を作る。図に示す回路では、矩形波及び鋸歯状波の継続時間は C_1 及び R_1 によって

第6図 輝点制御及び掃引回路



決り C_2 の値は鋸歯状波の振幅と直線性に関係するだけである。この場合の鋸歯状波は掃線時間がかかなり長く数 ms に達するが、既に輝点消滅後で、しかも起動の抑圧時間に較べればはるかに短いので波形記録に悪影響を与えることはない。鋸歯状波の直線性は正饋還回路を使って C_2 の充電電流を一定に保たせることによって改善している。この鋸歯状波をプッシュプルに増幅して時間軸掃引の電圧としている。

VI. 記録機並びに附属回路

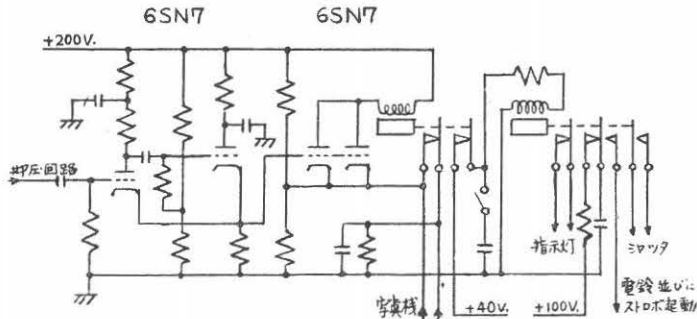
記録ブラウン管は、日本電気製 120E-B1 を加速電圧 2000 V で使用したが、2 ms 掃引に対しても、以下の撮影条件で十分に明瞭な空電像を記録出来、別に高速度ブラウン管を必要としなかった。2 個のブラウン管はフードで夫々の記録用写真機に結合し、波形撮影に際して暗所を必要としない。しかしこのため動作状態の調整点検用の覗き穴をフードにつけ管面を監視できる様にした。写真機ボデーは X 線間接撮影用の小西六製ルビコン、レンズはニッコール 50 mm, F/2, フジ SS 35 mm フィルムを使用する。フィルム 1 回の装填により連続 50 枚の記録写真が得られる。駒送りは

自動化が望ましいが、現在では手動によって 2 個の写真機を同時に操作しているが、通常の観測では不便を感じる程ではなかった。

各フードの内部には電磁シャッターがつけられている。シャッターは駒送りが完了すると同時にリレーによって自動的に開放されて空電の到来を待つ。ブラウン管面に像が現われるや自動的にシャッターが閉ぢられる。このシャッターの閉鎖は、起動掃引のためのパルスによって働くリレーを使っているが、起動パルスから通常は数分の 1 秒、特別の場合には 1 秒程度の遅れを与えてある。これは特に閃光が見られる様な場合例えば閃光の写真が記録されたという様なその放電に対する波形を区別するため、室外の操作者が手動でブラウン管の傍にあるネオン管を点燈し、これが同時に撮影される様になっているので、閃光の明るさにもよるけれども大体この遅れが 1 秒以内であるからである。かくして抑圧回路の動作と柝俟って波形の二重記録と駒送り途中での撮影が防止されると共に、屋外操作による雷光写真記録との対応や閃光の種類等を示すためのネオンが同時に確実に記録される。

空電の正確な発生時刻を知ることは、解析の際に気

第7図 記録用附属回路



象資料と対照したり、他の雷観測記録と対応をとる場合に不可欠なので、夫々のフードの一部に時計及びこれを空電波形と同時に撮影するための照明用のストロボ放電管を挿入している。ストロボの起動は同じくリレーによっている。時計は日に一度更正し10秒内外の精度で空電発生時刻を知ることができる。

空電像の到来は、ブラウン管面を常時監視しなくとも、上述の起動パルスによって働くリレーによって、指示燈及び電鈴で知らされる。

これらの附属回路を第7図に示した。

VII. あとがき

ここに述べた装置は過去3夏の雷観測によって逐次改善補充を重ねて来たもので、近雷に伴う空電波形の記録装置としては一応この程度の構成で満足すべきものだと考えているが、細部については今後の観測によって改善しなければならぬ所も多々あると思われる。尙従来の観測では雷活動の開始期を知ることが比較的容易でなく、最盛期に近くなって初めて波形記録をとり始めることも多かったので、その開始初期を知り得る様な適当なモニターとして、常時動作して自記記録している装置の必要が痛感される。このためには適当なレベルの放電計数器⁽⁷⁾もある程度有効と思われるが、更に個々の空電の持つ最大のピーク電圧を読取って自記できれば有効だと思われるので、その製作を計画している。従来の観測経験によれば大振幅の空電の到来は雷雨時であっても10秒程度以上の間隔があるので、一連の空電中の最大のピーク電圧を数秒程

度の時定数で記録することは可能だと考えられる。

又、この記録方式で波形の立上りが欠けることに対しては、現象偏向出力のみに遅延回路をつけて完全な像を得るか、或は起動をかけないで、連続的な電界変化を記録するかが必要である。後者では長尺のフィルムを短時間に消費するけれども、記録中にたまたま多数個の放電が起る様な機会に恵まれれば、これを併用することにより静電界強度が比較的楽に連続記録できると相俟って非常に有力な解析の手段となるので、この点にも一応の計画をしている。この様な記録の機会は強勢な雷雨に遭うことができれば、左程難しいことではないかもしれない。

終りに本装置の設計製作に当っては、当所の岩井章、伊藤吉之助両氏に負う所が多いのでここに厚く謝意を表する次第である。尙本装置の試作に当っては文部省科学試験研究費の補助を受けたことを附記しておく。

参考文献

- (1) 大島・岩井・伊藤：空研報告，1，42 (1950).
- (2) 岩井・仲井・村田：空研報告，3，37 (1952).
- (3) 岩井・伊藤・村田：空研報告，3，43 (1952).
- (4) 雷災防止第9特別委員会：雷の研究，(昭25).
- (5) 石川・高木・竹内：空研報告，5，27 (1954).
- (6) 石川・高木：空研報告，4，75 (1953).
- (7) 鎌田・竹内・中島：空研報告，5，No.2 (1954).