

水 晶 電 氣 時 計

東京工業大學 工學博士 古 賀 逸 策

1. 發 達 の 經 過

水晶發振器が安定な高周波電源として出現し、高周波工學殊に無線通信工學上に偉大な波紋を興へた事は今更喋々を要しない所であるが、近年無線通信は有線通信と相俟つて一刻も忽に出来ない重要なものとなり、通信の輻射は實に冒険に絶して居る。そこで、必要な相手の方向へ特に強い電波を向ける方法等は、送信電力の經濟化と共に混信防止の上に多少役立つが、何と云つても通信に用ひて居る電波の周波數を安定に保つ事が最も大切である。これに伴つて當然起る問題は高周波數の精密測定で、それには高周波の標準器を設けるのが最も便利である。そしてその周波數を決定するには結晶天體觀測によつて直接校正するか、或は天體觀測によつて校正された標準時計と比較する外に途はない。そこで當初は専ら 1000~ 程度の音叉發振器が標準器として用ひられた。即ちその周波數を決定するには、その電力を増幅して小型同期電動機 (Phonic Motor) を驅動し、その回轉數を齒車で次第に降し、普通の時計と同じ程度の歩みと興へて標準時計との比較或は天體觀測による校正に便ならしめる一方、必要な高周波數を得るには、標準周波數で高調波を多量に含む發振器の基波を制御したのである。然し安定な周波數を得るには水晶發振器を用ひた方が遙に容易である事が認められて來たので、若し高調波の抽出によつて興へられた周波數の整數倍に等しい周波數が簡単に得られると同様に、興へられた周波數の整數分の1に等しい周波數が簡単に得られさへすれば、水晶發振器の周波數の整數分の1に等しく且 Phonic Motor を驅動し得る程度の周波數が得られ、音叉發振器よりも便利な標準器が實現される事になる譯である。

筆者は故藤井恒太郎教授の指導により秘密通信に関する研究中 1926 年真空管回路を用ひて興へられた周波數の整數分の1に等しい周波數を得る方法即ち Frequency Demultiplication に成功した。⁽¹⁾⁻⁽³⁾次で翌年伊太利の Vecchiacchi,⁽⁴⁾⁽⁵⁾和蘭の van der Pol⁽⁶⁾⁽⁷⁾等も獨立に同じ目的を達する事に成功した。

こゝに於て高周波標準器の實現に最も早く宿願したのは米國⁽⁸⁾⁻⁽¹¹⁾と獨逸⁽¹²⁾⁽¹³⁾で、前者は 1928 年、後者は 1932 年その報告を發表して居る。最近に至り英國⁽¹⁴⁾もこれに追隨した。此等の標準器は何れも前述の様に天體の觀測或は標準時計等により直に校正し得るばかりでなく、普通の時計と同様、時刻を表示する文字盤をも具へて居るので、水晶電氣時計或は水晶時計と呼ばれるに至つた。

2. 振子型標準時計と水晶電氣時計の比較

従來標準時計と云へば直に重力による振子の振動を利用した所謂振子型の時計を聯想して居た位で、天文臺等に備付けてあるのは皆これである。所がこの振子時計の歩度を一定に保つには中々色々な苦勞がある。第一振子の運動は氣壓によつて多少影響される。又振子を支へてある部分の構造及び振子を驅動する方法等にも中々問題がある。水晶發振器に於ても現在米國で用ひて居る様な特殊な水晶振動子では同様の問題があるが、それにしても餘程問題が簡單になる。次に温度の影響であるが、振子に於ては線膨脹係數の異なる材料を組合せてなるべく振動周期の變化がない様に工夫はしてあるが、その上に時計を置く部屋を一定温度に保つのが普通である。水晶振動子に於ても 1929 年以來我國をはじめ英米等に於て温度による周波數の變化を少くする考案が行はれたが前節に述べた電氣時計に着手する迄にはあまり満足なものはい

て居なかつた。それにしても水晶時計で温度を一定に保つ必要のある部分の大きさは振子時計に比べると遙に小さいものであるから、温度を一定に保つ事も餘程難である事は云ふ迄もない。

以上掲げた諸點に於ては専門家以外の者に對しては、敢えて振子時計を止めて水晶電氣時計を用ふる程の大した理由もない様に感ぜられる。然し最後に一つ、我國の様に地震の多い所では振子時計が少からず傾されて居るに係らず水晶電氣時計の方には殆ど心配がない點は特筆大書すべき相異であらう。

3. 水晶電氣時計の方式

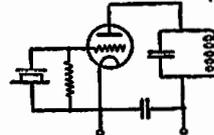
前節に述べた様に、水晶電氣時計が地震に傾されない特徴を持つて居る以上、我國等は寧ろ諸外國に先んじて實現化に努力すべきであつたと思ふが、不幸にして未だ相當な成績を挙げた報告に接しない。殊に筆者としては水晶電氣時計を纏める爲には是非共必要な Frequency Demultiplier を最初に報告し得ながら、更に又近年報告⁽¹⁵⁾⁽¹⁶⁾した際に、水晶電氣時計に用ひるには屈強な、温度の變化による周波數の變化の極めて小さい水晶振動子を実現し得て居ながら、我國で何時迄も水晶電氣時計の完成されないのを手を拱いて見て居るのは甚だ残念な事だと感じ、1936 年春から愈々實際に着手し、先づ同年 5 月本校記念祭當日一般の觀覽に供したのを手始めに、1937 年春 Paris に於て開催された巴里大博覽會に出品する爲に纏つた形態のものを組立て、次でこれ等から得た經驗を基礎として更に新な 1 臺を組立て、東京天文臺の好意により 1937 年 7 月 7 日 (支那事變發生の日であつたのは奇縁である)同天文臺で起動し今日に及んで居る。

吾々の纏めた時計は米、獨、英等の夫とは相當趣を異にして居る點がある。今これ等を列擧すると、

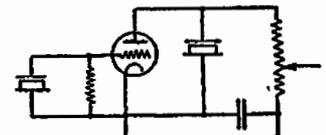
1. 水晶發振器の周波數を 1Mc に選んだ。従來の水晶電氣時計では水晶發振器の周波數は 0.1Mc と云ふのが最も多い。英國の如きは 0.02 Mc と云ふ様な低い値を選んで居る。⁽¹⁰⁾然し發振器の周波數は高い程安定であるばかりでなく、周波數温度係數を小さくする事が容易になる利益がある。尤もこれが爲に周波數を demultiply (過降) するに要する真空管の個數は稍増加するけれども、回路の安定度に於ては何等不安を興へなかつた。

最近吾々は水晶發振器の周波數を 5 Mc に逆引上げやうと試みて居る。その成否は未だ確でないが、若し可能となれば、水晶振動子の製作は一層容易になる譯である。

2. 水晶發振器には、普通⁽¹⁷⁾圖の如き所謂 Pierce 回路が最も廣く用ひられて居るが、斯様にコイルや蓄電器を用ひないで、⁽¹⁷⁾圖の如く、フルート回路にも水晶振動子を用ひ、⁽¹⁷⁾長日月の間に回路定數の變化を生ずる恐がない様にした。又周波數の過降等にもコイルを用ひず、全回路を通じ抵抗器と固定蓄電器のみを用



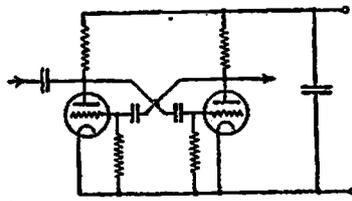
第 1 圖



第 2 圖

ひて (最終段の電力増幅の所で變壓器を用ひて居るのが只一つの例外である) 全體を非常に小さく纏めると同時に、外面を金屬壁にして靜電遮蔽を行ふだけで、外部からの電氣擾亂を比較的簡單に除き得た。⁽¹⁷⁾圖は周波數の過降に用ひた回路で、回路の振動

周波数を約 100 kc に調整し、これに左方から 1000 kc の電圧を興へると、回路は正しく 100 kc になる。全く同じ回路を繰返して 100 kc から 10 kc に、10 kc から 1 kc に遷降した。尤も相隣る Demultiplier の間には緩衝の目的で真空管一段を挿入した。

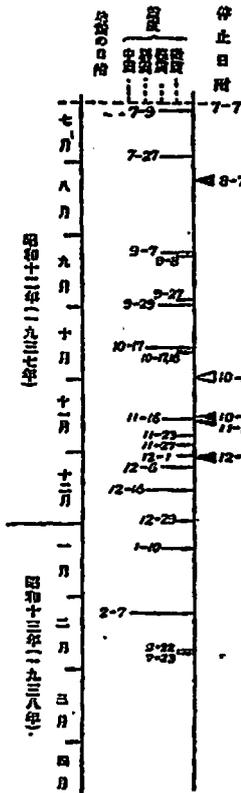


第 3 圖

3. 真空管の寿命をなるべく長くする爲 プレート の定格電圧が 250 V であるのに対し、B 電源を 200 V としたばかりでなく、真空管のプレートには何れも必ず相當の抵抗が直列に接続されて居るので(第2圖, 第3圖), 真空管に實際に加はつて居る電圧は 200 V より餘程低くなつて居る。

4. 實 績

第4圖は、東京天文臺の好意で 1937 年 7 月 7 日以来試験中のものに就て、その経過の概要を示すものである。起動以来今年 2



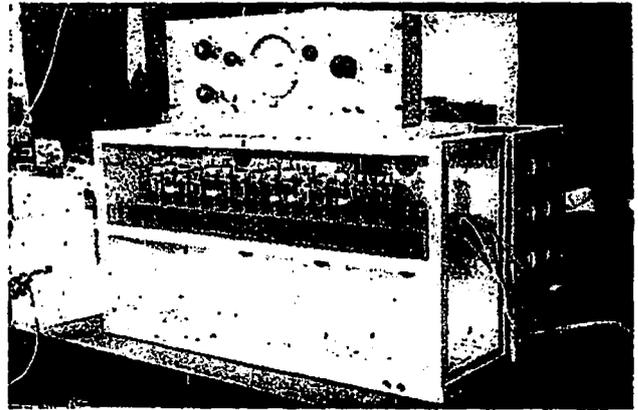
第 4 圖

月末迄に人體に感じた地震は 20 回に及んで居るが、一度もその爲に異状を來さなかつたのは勿論、不明の原因で停止した事は一回もなかつた。即ち 8 月 7 日に回路の部分品として用ひてあつた固定抵抗が断線し、11 月 16, 17 兩日及び 12 月 1 日取扱上の行違ひで停止した外は連続運轉して居る。

水晶振動子は勿論氣温に曝されたまゝであるが、念な事に現在用ひて居る水晶振動子の周波数温度係数は未だ十分小さく出来て居ない爲に 9 月から 10 月に入つて平均氣温の降下と共に時計の歩度が多少變化した。そこで 10 月 29 日一旦停止して地下室に移した所氣温の變化は約 2°C 位となり、歩度の變化も非常に少なくなつた。即ち圖に示す様に 11 月上旬では平均毎日の遅れ 2.67

秒、下旬 2.69 秒、12 月 2.58 秒、1 月 2.43 秒である。2 月以後の結果は本稿既稿迄には出来上らなかつた。

この試験には東京天文臺の橋元昌次先生から多大の御鞭撻を賜はり、且御自身で測定等に関する厄介な仕事を御指圖下さる等の御好意を辱りし、全く感謝の言葉もない次第である。今年は更に一層優秀な性能の時計を編め、この御好意と御援助とに些でも報いたいと念じて居る。



東京工電大學生水晶電振時計

引 用 文 献

- (1) 特許第 34844 号、發明者：古賀通策・船井恒太郎、1926 年 7 月 13 日出願
- (2) 古賀通策：新用波電振換器—電學誌, Vol. 47, No. 463, p. 146, February, 1927
- (3) I. Koga: A New Frequency Transformer or Frequency Changer—Proc. I.R.E., Vol. 15, No. 8, p. 609, August, 1927
- (4) G. Vallauri: Confronti fra misure di frequenza, per mezzo di piezorisonatori—l'Elettrotecnica, Vol. 14, No. 20, July 15 and No. 27, September 25, 1927
- (5) F. Vecchiacchi: Conversione statica ed armonica di Frequenza (Static and Harmonic Conversion of Frequency)—l'Elettrotecnica, Vol. 17, p. 2, Jan 5, 1930; R.G.E. Vol. 28, p. 58, July 12, 1930
- (6) Balth. van der Pol and J. van der Mark: Frequency Demultiplication—Nature, Vol. 120, No. 3019, p. 363, September 10, 1927
- (7) Balth. van der Pol and J. van der Mark: Quelques expériences avec des triodes et les oscillations de relaxations—Physica, Vol. 7, p. 116, 1927; l'Onde Electrique, Vol. 6, p. 461, September, 1927
- (8) J. W. Horton and W. A. Marrison: Precision Determination of Frequency—Proc. I.R.E., Vol. 16, p. 137, February, 1928
- (9) W. A. Marrison: A High Precision Standard of Frequency—Proc. I.R.E., Vol. 17, No. 7, p. 1103, July, 1929; B.S.T.J., Vol. 8, p. 493, July, 1929
- (10) W. A. Marrison: The Crystal Clock—Proc. National Academy of Sciences, Vol. 16, p. 496, July, 1930
- (11) A. L. Loomis and W. A. Marrison: Modern Developments in Precision Clocks—Transactions A.I.E.E., Vol. 51, No. 2, p. 527 and 550, June, 1932
- (12) A. Scheibe und U. Adelsberger: Eine Quarzuhr für Zeit- und Frequenzmessung sehr hoher Genauigkeit—Physik. Zeitschr. Vol. 33, No. 21, p. 835, Nov. 1, 1932
- (13) A. Scheibe und U. Adelsberger: Die technischen Einrichtungen der Quarzuhren der Physikloch-Technischen Reichsanstalt—Hochfrequenztechn. u. Elektroakt., Vol. 43, p. 37, February, 1934
- (14) L. Essen: The Dye Quartz Ring Oscillator as a Standard of Frequency and Time—Proc. Roy. Soc. London, Vol. 155 Series A, p. 408, July 1, 1936
- (15) I. Koga et M. Shoyama: Caractéristiques fréquence-température de plaques de quartz oscillante à coefficient de température nul—C.R. Vol. 200, No. 14, p. 1224, April 1, 1935
- (16) 古賀通策, 庄山三夫: R' 等温度係数水晶振動子の温度特性—電學誌, Vol. 55, No. 562, p. 441, May, 1935
- (17) 古賀通策: 新奇な水晶電振器—電學誌, Vol. 53, No. 544, p. 1059, November, 1933

(昭和 13 年 3 月 31 日記)

本 號 總 覽

- **水晶電氣時計(古賀逸策氏)**.....425 頁
無磁工學に於て高周波數の精密測定が要求せられ、周波數標準器として水晶發振器の周波數を用ひるのが便利なることに着眼して之が實現し、普通の時計と同様の時刻を表示する文字盤を具へてゐる所から水晶電氣時計と呼ばれるに至つた。水晶電氣時計を振子型標準時計と比較すれば、氣壓、溫度に對しては勿論、特に地震に對しては水晶時計の方が遙かに有利である。而して著者が東京天文臺に於て試験中のものは本年1月の實績によると平均毎日の遅れ 2.43 秒であつた。
- **汽管の被覆に就いて(大石以貞氏)**.....427 頁
長い圓筒狀被覆汽管の表面より失はれる放散熱の算式を誘導し且つ被覆を有效ならしめる爲には被覆物の厚さを如何に選ぶべきかを吟味した、即ち却て傳導熱が増大して被覆の效がないばかりでなく逆作用を生ずる、よつて被覆效果の生ずる限界點を明かにされてゐる。尚ほ熱放散の式は冷凍管の如く外部より内部に熱が向ふ場合にも適用出来るものである。
- **活線鐵管割取り作業に就て(長野喜太郎氏)**.....429 頁
送電中の電線を收むる鐵管路を管割したい場合は屢々起るが、停電せず之を行ふには大膽にして然も細心の注意を要する。而して鐵管を管割するには最も弱い部分を檢出して行ふべきで、本文にその檢出方法を數式によつて説明し、必要な工具及び材料を擧げ、ハンマーの叩き方から最後の處置に至るまで實地の指針を示されてゐる。
- **三相分巻電動機の低速度に於ける二次特性に就て(松本正則氏)**.....431 頁
三相分巻電動機の一般特性式を誘導し之をベクトル圖に表はして諸量間の關係を明示し、更に二次抵抗による特性の變化を檢討して、低速運轉に於て滑りが或る程度以上になれば二次回路に外部抵抗を挿入することによつて却つて特性を幾分改善し得ると同時に溫度上昇を著しく低下し得る事實を示す、これは刷手軸を中性位置から移動して二次力率を改善する面倒を避ける爲に有利な手段であることが分る。次に刷手軸を中性位置から移動して特性の改善をはかる場合の特性について説明せられてある。
- **家用變電設備の設計概略(高橋銀藏氏、石川好郎氏)**.....437 頁
高壓家用變電設備を設計する上に必要な知識として、電源の供給方法、即ち一系統受電、二系統受電、その他豫備電源等を考慮した電氣系統圖並にその設備の接続圖を示し、電源引込方法として架空線引込、地中線引込の注意を述べ、變電室の設計とその設備に對して位置の選定、廣さ及び構造、諸機器、工事上の注意等を説明し、終りに出願手續及びその作製例を實例を以て示し、今後出願する者の參考に資す。
- **交通機關に使用する自動電動階段(向井幸一郎氏)**.....443 頁
エスカレーターとも言はれるもので、その構造の主要部分たる桁骨運轉用機械、傳導裝置、回轉裝置及踏段用チェーン、踏段、梯板及び閉干並にハンドルの概要を説明し、制御盤については電氣的結線圖により稍詳細に述べ、安全裝置についても配線圖を示して相互の關係を明かにされてゐる。荷運轉上の注意を経験に基いて種々述べられ、電動機及び傳動機構に關し數式を以て設計上の參考に資してある。
- **最近の光電管と其増感法(萩田小一郎氏)**.....447 頁
光電管の發達の概略を述べて現在のものに至つた経過を述べ、更にこれを改良して感度の優秀なものを得た著者の實驗を紹介さ

れてゐる。即ち光電作用によりて電子を放出する陰極の電子放出機構に於てセシウム酸化物は最も優れた作用を行ふこと、光電溝を強大ならしめるために光電管に稀有瓦斯を封入すること、紫外線に對しては管球硝子に注意すべきこと等がそれである。

- **音響記録及再生に用ふる定速度裝置(岡原勝氏)**.....455 頁
録音及其再生はトナー等に見られる通り定速度に行はれることが必要で、定速を得るために考へられて來た種々の方法につき、先づ蓄音機のガナー、齒車の振動を止める機械的濾波器、Elemer と Blattner の複合齒車、Bedford の差動驅動齒車、フライホイールを用ひる強制法等を紹介し、速度變化の測定について一言されてゐる。

- **變壓器補償(5)(宮本茂業氏)**.....463 頁
各國標準規程の絶縁耐力試験に關する規定について比較檢討されてゐる。尤も本文は主として對地絶縁試験と誘導電壓試験に對しての比較がなされてあるが、それによると低電壓用の變壓器に對しては米國が最も辛く獨逸は之に次ぎ、日本と英國とは比較的甘い。又高電壓用の變壓器に對しては日本と米國とが辛く、英國と獨逸は稍々甘いことが分る。次に誘導電壓試験は日本の規程を大いに改訂すべき點ありなほ之は衝撃電壓試験に委せて然るべきことを述べられてゐる。

- **柱上變壓器の電壓變動率について(庄川庄造氏)**.....472 頁
負荷の力率によつて送配電線路並に柱上變壓器の電壓變動率が如何に變動するか、變動率の公式によつて力率 80% 乃至 60% といふ實際の状態に於ける變動率の値を數量的に表し、この電壓變動のために電動機の蒙る悪影響の大なることを述べ、之が對策として負荷末端に於ける力率改善こそ根本的對策なりと結ぶ。

- **ヘビサイド演算子法(5)(福田節男氏)**.....489 頁
回路のインディシャル・アドミッタンス、即ち回路の一端子に 1・1 なる起電力を加へたときに起る電流、を考慮して重疊の理を押し進めた計算方法について一般的説明を與へた後、4 つの應用例を掲げ、次にインディシャル・アドミッタンスとインピーダンス函數とを結ぶ無限積分定理について解説せられてある。

最近の特許から (19)

消 弧 裝 置

(昭和13年特許出願公告第554號、發明者安島信太郎氏)

消弧の機構を説明する前に符號の説明をすると、圖に於て1及

2は固定接觸子、3は回轉型中間發弧接觸子(上端A、下端B)、6は彈條、8は噴油孔、9は可動接觸杆である。閉路状態に於ては3は導電副路を形成してゐる。今開路せんとして9が下降し9の上端がBの點を離れると同時にAの接觸も離れる。従て消弧室内の上下兩部に第一第二電弧を同時に發生せしめ、上部電弧壓力による油流が分解ガスを混合せざる間に該油流により下部電弧及電弧脚を有効に洗滌せしめ以て消弧を迅速にすることが出来る。

