

商用周波数の精密測定

高木 昇・中川 隆

1. 緒言

戦前から戦後にかけて電源開発を行わなかったことと電源設備の老朽化に伴い、発電能力が需要に追いつかず、この数年来渇水時には停電、節電が年中行事の一つとなっている。このような場合には規定電圧から電圧が下るばかりでなく、周波数も下り、規定値 50 サイクルが 45 サイクルに低下する場合すらある。

一定の回転速度を要求する紡績、人絹、精密工業等にとって電源周波数の変動は致命的であり、一般の回転機においてもその能率が低下する。また電気時計は使用できない。従って電力の質を良くするためには電圧のみならず、周波数も規定値に保つことが必要である。

周波数の変動は負荷の変動に伴って起るものであるから、周波数を一定にするためには負荷に応じて発電を調整しなければならぬ。現状では発電能力が不足なためにかかることは行えないが、最近計画的に電源が開発されているので、数年内には周波数調整が行われるに至るであろう。

電力系統の周波数調整を行うには、負荷が増すと周波数が下るので調整用発電所の発電機の出力を増して周波数を一定に保ち、負荷が小になれば発電機の出力を減じて周波数の上昇を抑える。電力系統の発電所の数が少なく、一発電所の出力が大きいときには調整が簡単であるが、わが国の如く小さい発電所が多数集つて一系統をなしている場合には調整単位が小さいために調整が複雑で高度の技術を必要とする。

そこで當時中央の給電指令所で周波数を監視し、その変動に応じて特定の調整用発電所に信号を送って自動的に発電所の出力を調整するようになるであろうが、そのためには時々刻々変る周波数の精密測定が必要である。従来、50 サイクルに対し 0.1 サイクルを読む測定器はあったが、これでは発電所の自動制御を行うには不十分で、0.01 サイクルを識別する必要が生じた。以下に筆者が行った精密測定法について記すことにする。

2. 周波数測定の原理

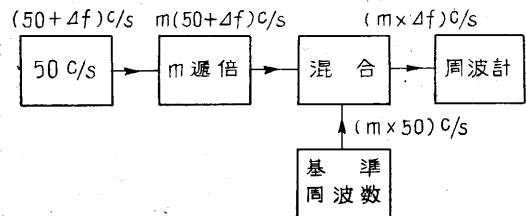
現在の商用周波数の精密測定に対し要求される事項は、

- (1) 測定周波数範囲 45~51 c/s
- (2) 測定精度 0.01 c/s (50 c/s に対し 0.02% に当

る)

(3) 出力 1 c/s の変動に対し直流 30mV 以上である。周波数の測定結果は記録させる必要があり、それには現在最も確実である電子管平衡式の記録装置を使用するために(3)の条件が必要である。

50c/s の精密測定には従来周波数ブリッジが用いられてきたが、これでは精度が 0.1c/s で種々検討の結果、0.01c/s を測るのは困難なことが分つたので、筆者は第 1 図に示す如き周波数通倍法によることにした。



第 1 図

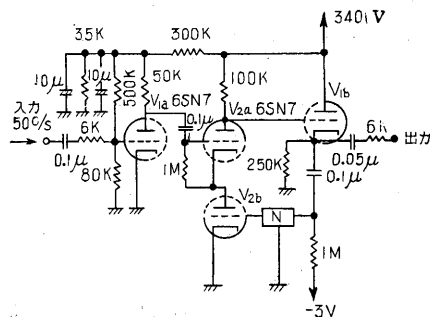
測ろうとする周波数が規定値 50c/s から Δf c/s 変動しているとき、これを周波数通倍器に加えると周波数は m 倍になる。今これに周波数の安定な水晶発振器から $m \times 50$ c/s の基準周波数を作って混合し、その差をとれば変動分が m 倍されて現われるのでこれを電子管周波計で測り、また記録すれば良い。 m は以下に述べるように 81 倍に選んだので、1c/s の変動は 81c/s の変動に拡大され、周波計ではこの 1c/s 以下迄測ることができるので、対しては 0.01c/s 迄の測定精度があることになる。

に各部の解説を行うことにする。

3. 周波数の通倍

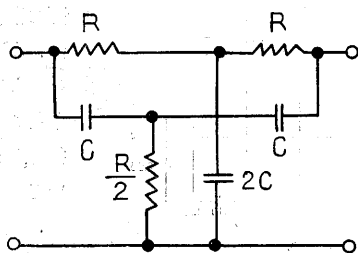
波数の通倍を行うには通常元の周波数の波形を歪ませ高調波の含有量を大にし、次いで選択性の鋭い、即ち Q の高い回路を用いて特定の高調波のみを取出すようにする。 Q が大きいほど他の高調波の混入を防ぎ、また通倍次数も大きくとることができて装置が簡易になるが、被測周波数が 46~51c/s の間 10% も変動するので Q を余り大きくすることはできない。また通倍次数も 46c/s の $(m+1)$ 倍と 51c/s の m 倍とが接近すると誤りを生ずるので限度がある。そこで以上のことを考えに入れて Q は 10 程度、通倍次数は 3 に選んだ。

選択回路としてコイル、蓄電器を使用すると 50c/s の如き低周波では費用がかかり、場所もとるので、抵抗と



第 2 図

蓄電器のみを使用した並列 T 型ブリッジ回路を用いた第 2 図の如き回路を採用することにした⁽¹⁾。V_{1a} は波形を矩形波に変換し、V_{2a}, V_{2b} はカスコード型増幅器、V_{1b}



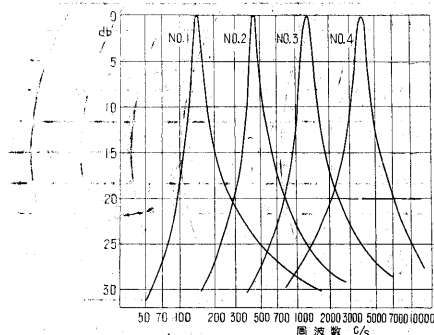
第 3 図

はカソードホッパー、N は第 3 図に示す並列 T 型ブリッジで、

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

で与えられる周波数を選択増幅する。

第 2 図の入力に 50c/s を入れると出力からその 3 倍の



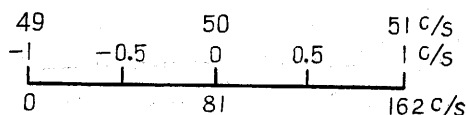
第 4 図

150c/s がとり出される。次に第 2 図と同一回路を更に 3 段つなぎ、但し N の回路定数は順次 450, 1350, 4050c/s に同調した⁽²⁾のを使用し全体で $3^4=81$ 倍の周波数通倍を行う。第 4 図は各通倍段の周波数特性を示すものである。

4. 基準周波数の発生

41~51c/s に亘つて 0.01c/s の読みとり精度で周波数を測るには周波計として 500 目盛を必要としこれを 1 個の計器で行うのは不可能である。そこで 1 個の周波計で間に合わせるために基準周波数をいくつか切替えることにした。

周波計の全目盛を商用周波数の 2c/s とすると、これは 81 通倍されて 162c/s となるので周波計としては 0~162 c/s のを用意する。そして 46~51c/s 間で重なりを考慮にとって第 5 図のように目盛るとすると、混合器に加える基準周波数として



第 5 図

$$45 \times 81 = 3645 \text{ c/s}, 46 \times 81 = 3726 \text{ c/s}, 47 \times 81 = 3807 \text{ c/s} \\ 48 \times 81 = 3888 \text{ c/s}, 49 \times 81 = 3969 \text{ c/s}$$

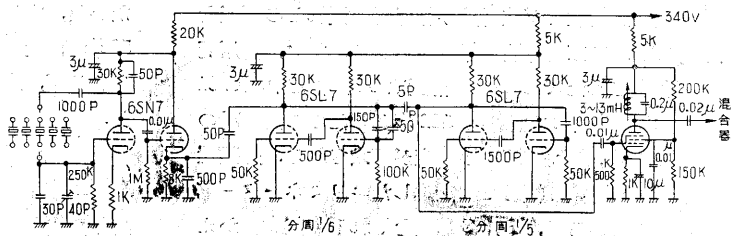
の 5 周波を準備すれば十分である。その精度としては、0.01c/s の変動を知るために 0.02% を要求されるので、周波数の安定な水晶発振器を使用しなければならぬ。ところが 3000c/s 附近の低周波用水晶振動子は極めて高価であり、入手も困難なので、容易に入手できる 100kc 附近の水晶を用いることにした。その代り周波数は 1/30 に下げる必要がある。

1/30 に分周するものとすれば水晶発振器の発振周波数は上記 5 周波の 30 倍となり、

109.35kc, 111.78kc, 114.21kc, 116.64kc, 119.07kc で、発振回路は第 6 図左端に示す無調整回路を用い、水晶振動子の切換だけで 5 つの基準周波数を出することができる。水晶発振器の出力波形について正弦半波に変形して分周器に加えて 1/6 にし、更に 1/5 に下げてから最後に正弦波に直して混合器に加える。

5. 混合回路

混合回路を第 7 図に示す。通倍された周波数の振幅には若干変動があり、このまま混合すると周波計に誤差を生ずるので、まずリミッターに加えて一定の振幅にして混合器に加える基準周波数も同時に加えて両者の差の周波数 (0~162c/s) をとり出す。これが目的の周波数で



第 6 図

