U.D.C. 621.375.4

トランジスタ水晶発振回路における出力の安定化について

Output-Power Stabilization for Crystal-Controled Oscillator Using Junction-Transistors

波多野泰吉*

内　容　梗　概

ジャンクショントランジスタを使用した水晶発振器が最近，トランジスタ搬送装置そのほかに用いられるようになつた。トランジスタはその特性が温度により大幅に変化し，発振回路としての諸特性もこの影響をうけやすい。従来，温度変化に対して大幅の発振出力の変動または発振停止の現象が見られたが，コレクタ電流の安定化，負荷インピーダンスの適当な選定および水晶とトランジスタ回路のあいだのインピーダンス整合を行うことにより，50℃ にいたる温度範囲のあいだ，出力レベルの変動をおおむね 0.5 db 程度におさえることができた。実験を行つたのは 200 kc の水晶発振回路および可聴周波の連結子型水晶発振回路である。

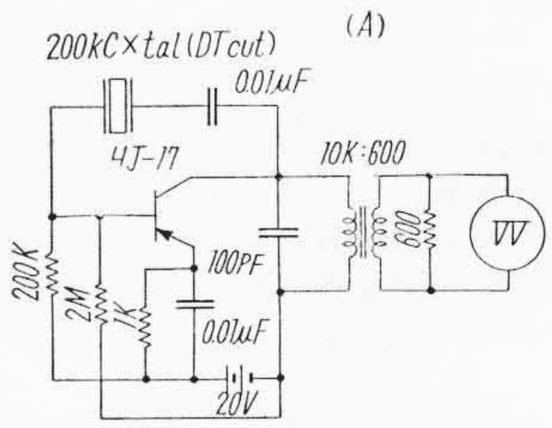
〔I〕 緒　　言

現在の通信機においては一般にきわめて高い周波数の安定度が要求され，その結果多くの装置に水晶発振回路が用いられている。したがつて，通信機をトランジスタ化する場合にも水晶発振回路の開発とゆうことが，まず最初にとりあげられねばならない問題の一つとなる。とにかく，最近のトランジスタの発展はめざましく，サーフェスバリア・トランジスタや PNIP あるいは NPIN トランジスタなどが開発されるにいたり，使用周波数帯域も音声周波帯から，しだいに無線周波帯にまで拡大され，最近では VHF 帯あるいは UHF 帯のものも実験的に取扱われるようになつている。

これらの広い帯域のうちの比較的周波数の低い部分の水晶発振回路について，トランジスタ搬送装置そのほかに応用のため，われわれは若干の実験を行つた。トランジスタは周囲温度の影響を受けて特性が変動しやすく，回路的に補償をしなければ動作が真空管の場合に比べ不安定で問題が多い。本文においてはこのうち出力レベルの安定化について報告する。

〔II〕 温度に対する出力の安定化

トランジスタ水晶発振器の周波数安定度は，使用回路を適当にえらぶことにより真空管の場合と同程度のものがえられることが知られている[1][2]。しかしトランジスタの内部インピーダンスは使用電圧および使用温度により変化し，またカットオフコレクタ電流も温度変化に対応して変化するものであり，発振振幅もこれらの値の函数として定まるものである。したがつて，使用電圧は安定化することが容易であるからこれの変動は問題ないにしても，温度に対する電流の安定化が行われていないときは発振出力が大幅に変動しやすい。一般には，十分強力に発振が行われているときは，その振幅を決定するのは主としてコレクタ電流，コレクタ電圧および負荷インピーダンスである。



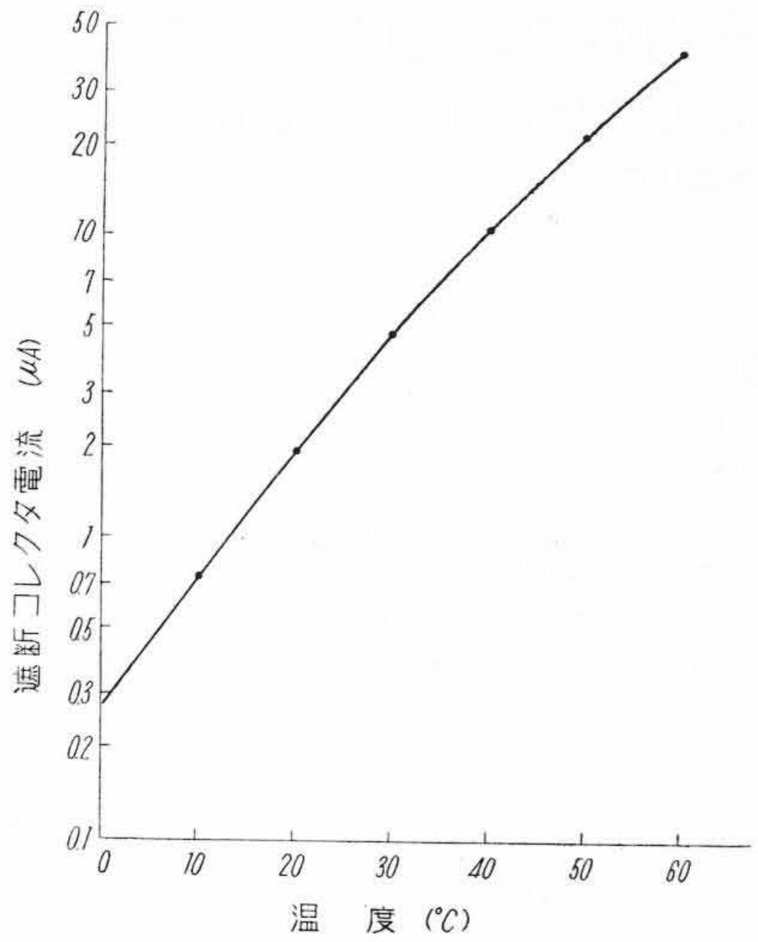
第1図　高周波水晶発振回路（A）およびその出力の温度特性（B）
（コレクタ電流の安定化は行われていない）

Fig. 1. High-frequency Crystal Oscillator Circuit (A) and Variation of its Output Voltage with Temperature (B)
(Collector Current is not Stabilized)

（1）　高周波発振回路

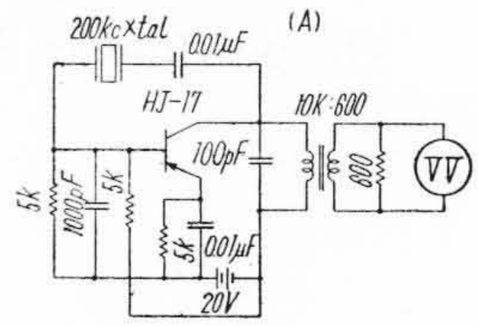
第1図は 200 kc の DT カット水晶を用いた発振回路であり，とくにコレクタ電流の安定化については考慮がはらわれていない。温度上昇とともに遮断コレクタ電流も増加し，したがつてコレクタ電流も増加する。第1図の結果よりあきらかなごとく出力電圧は温度の低いうちはおおむねコレクタ電流の増加に比例して増加し，つい

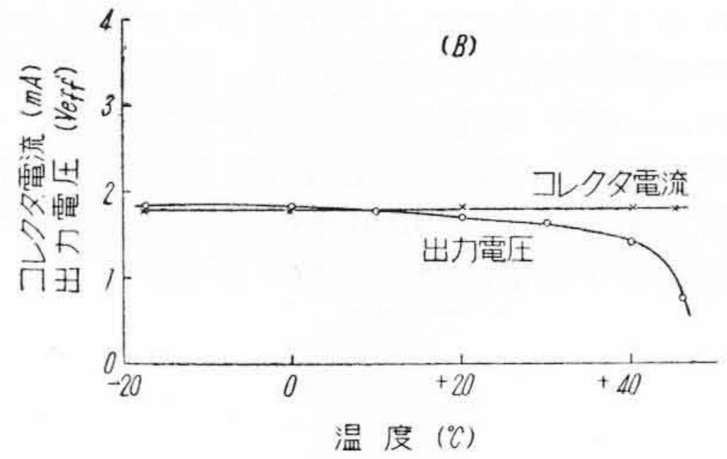
* 日立製作所戸塚工場



第2図　遮断コレクタ電流の温度特性例（コレクタ電圧は－6 V）

Fig. 2. A Variation of Cut-off Collector Current with Temperature (Collector Voltage＝－6 V)





第3図　高周波水晶発振回路（A）およびその出力の温度特性（B）
（コレクタ電流の安定化が行われている）

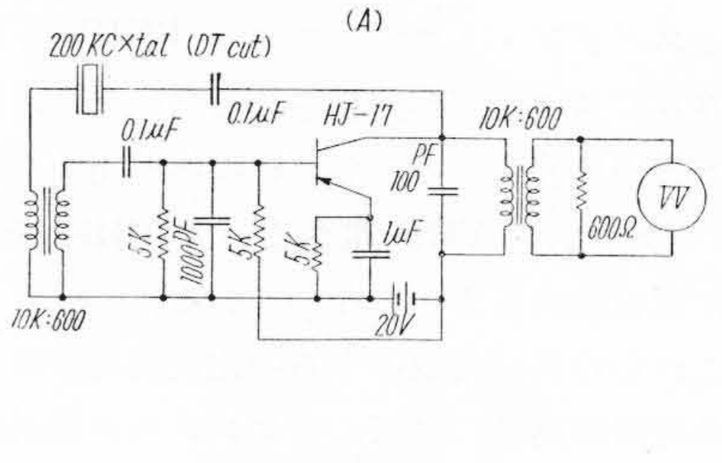
Fig. 3. High-frequency Crystal Oscillator Circuit (A) and Variation of its Output Voltage with Temperature (B)
(Collector Current is Stabilized)

で振幅はさがり，発振は弱くなりついに停止する。図において負電源とベースのあいだに接続された抵抗 2 MΩ がない場合には温度の低下とともにコレクタ電流も減少し発振は停止する。**第2図**にコレクタ電圧 －6 V としたときの遮断コレクタ電流の温度特性を示す。

第3図はコレクタ電流の安定化を行つた回路であり，この結果では低温部における出力レベルの変動は補償されているが，温度が上つたときには出力レベルは低下し発振は約 47°C において停止している。

一般にトランジスタを使用した装置においては，消費電力が比較的少いので装置自身の温度上昇はあまり多くないと考えられるけれども，トランジスタの使用が許される周囲温度にいたるまでは回路的にも動作が保障されることがこのましい。通常 50°C 以下では少くとも安定に動作することが望ましい。

第1図および**第3図**の温度上昇にともなう発振の停止はトランジスタの等価内部抵抗の変化に原因すると考えられるので水晶とベースとのあいだにインピーダンス変換の目的で変圧器を入れた。この結果を**第4図**に示す。この回路では**第3図**と同様にコレクタ電流の安定化が行われているので 50°C にいたるまでの温度変化に対応する出力レベルの変動は約 0.5 db 程度となりさらに温度が昇つても発振は停止しない。水晶とトランジスタ回路とのインピーダンス整合を適当にすることは発振の停止を防ぐためには有効であると思われる[4]。ゲルマニウムの比抵抗の大きさなどによつて発振の停止する温度が，かなり異なることが認められる。

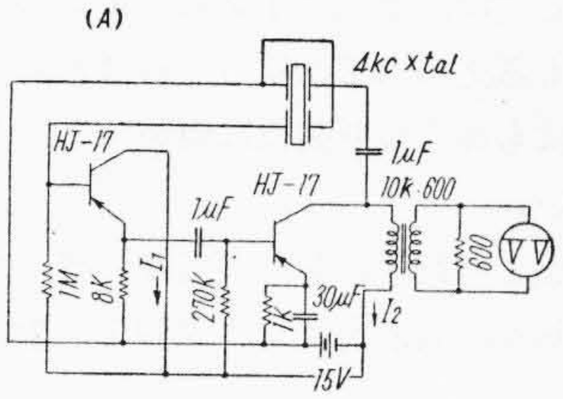


第4図　高周波水晶発振回路（A）およびその出力の温度特性（B）
（出力レベルは安定化されている）

Fig. 4. High-frepuency Crystal Oscillator Circuit (A) and Variation of its Output Voltage with Temperature (B)
(Output Level is Stabilized)

（2） 可聴周波発振回路

可聴周波の水晶発振回路としては，励振電極を電気的に分割して4端子とした水晶発振子すなわち連結子が用いられる。**第5図**は入力段をコレクタ接地とし，水晶よりベース側を見たインピーダンスを高くして整合をとら



第5図　可聴周波水晶発振回路（A）およびその出力の温度特性（B）

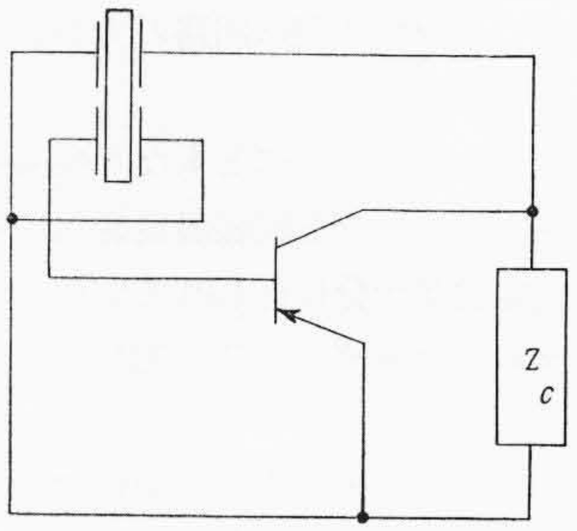
Fig. 5. Audio-frequency Crystal Oscillator Circuit (A) and Variation of its Output Voltage with Temperature (B)

せるようにしたものである[3]。この回路について温度試験を行つた結果では，第5図に示されるごとく比較的低い温度において発振が停止する。図の例では約 33°C において停止しているが筆者の実験においては，これは比較的よい方であり，30°C 以下において停止するものもみられた。以上の結果第5図の回路では実用上問題がある。

第6図のごとき回路は真空管との対応においてまず第一に考えられる回路であるが，可聴周波においては発振しない。この原因はベース側の入力インピーダンスの低さにあると考えられる。

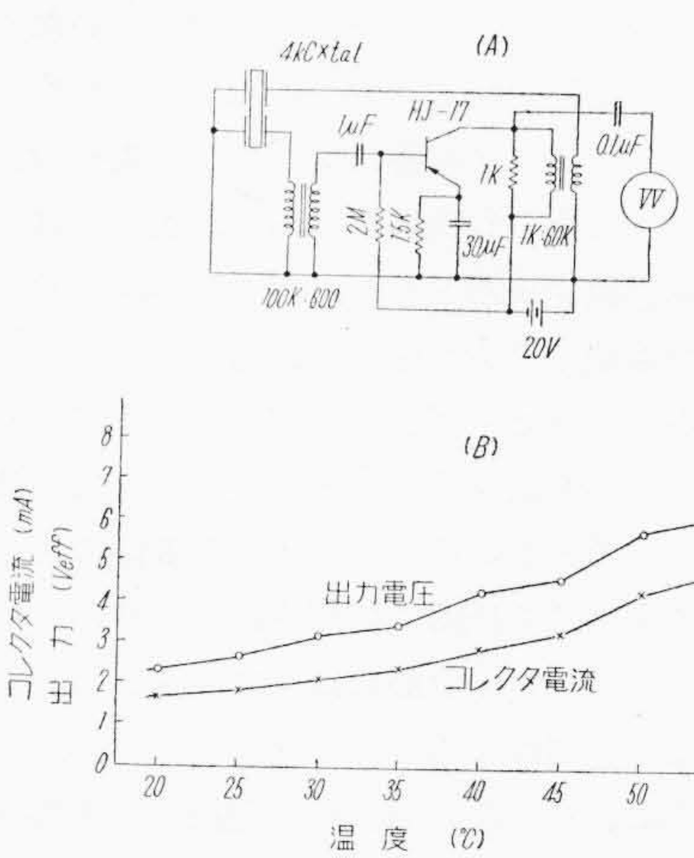
第5図のごとき回路の温度特性を改善する目的で使用したのが第7図の回路である。一般に連結子は第5図のごとき接続を行うより第7図のごとき接続を行う方が，より強力な発振をすると考えられ，この回路を用いてより強力な発振を行わせることにより比較的高い温度においても発振停止の起らないことを期待した。この回路で使用されるトランジスタは1個であり，水晶とベース回路のあいだにはインピーダンス整合用の変圧器を使用しインピーダンスを整合させている[5]。

要するに，温度上昇にともなう発振の停止は適当なインピーダンス整合を行うことによりさけうると考えられるから第5図の回路においても水晶と第1段目のトランジスタのあいだにインピーダンス整合用変圧器を挿入することにより十分発振の停止をさけることができると考えられる。しかしここの部分に変圧器を使用するのであ



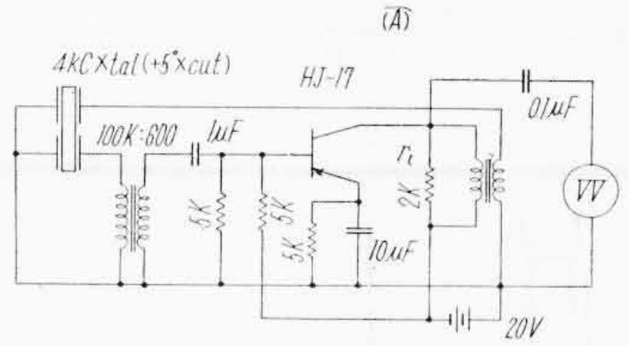
第6図　連結子型水晶発振回路の一形式

Fig. 6. One Type of Audio Frequency Crystal Oscillator



第7図　可聴周波水晶発振回路（A）およびその出力の温度特性（B）
（コレクタ電流は安定化されていない）

Fig. 7. Audio-frequency Crystal Oscillator Circuit (A) and Variation of its Output Voltage with Temperature (B)
(Collector current is Not Stabilized)



第8図　可聴周波水晶発振回路（A）およびその出力の温度特性（B）
（出力レベルは安定化されている）

Fig. 8. Audio-frequency Crystal Oscillator Circuit (A) and Variation of its Output Voltage with Temperature (B)
(Output Level is Stabilized)

ればトランジスタが1本ですむ第7図の回路の方が好ましい。

第7図の回路においては，温度上昇にともなう発振停止は認められないが，第1図の場合と同様温度変化に対応するコレクタ電流の安定化が十分に行われていないので，温度上昇とともにコレクタ電流および出力レベルが上昇する。

これらの点を改良しコレクタ電流の安定化を行つたのが第8図の回路であり，周囲温度 55°C にいたるまでの出力レベルの変動は約 0.5 db 程度にしかすぎない。

図においてコレクタ回路に接続された抵抗 r_l は，出力をとりだすための負荷抵抗であり，実際にはコレクタの負荷を3巻線変圧器となし，べつの巻線に負荷インピーダンスを接続する方が便利である。

水晶の終端インピーダンスの値が不適当であれば，水晶の振動姿態が要求するものと異なり，発振周波数も全然異なつたものとなる場合がある。第8図のごとき回路においては水晶は変圧器で終端されており，そのインピーダンスも高いから，実際にはリアクタンス分も多く，常時適当な値を製作することは比較的やつかいなことである。とくにいくつかの周波数の発振器を製作する場合同一規格の変圧器ですますことができることが望ましい。このために，水晶とベース側の変圧器のあいだに π 型あるいはL型の抵抗回路をいれ，インピーダンス整合の補助として用いると大変便利であり，変圧器の特性の差異による異状振動姿態などは容易に防ぐことができる。

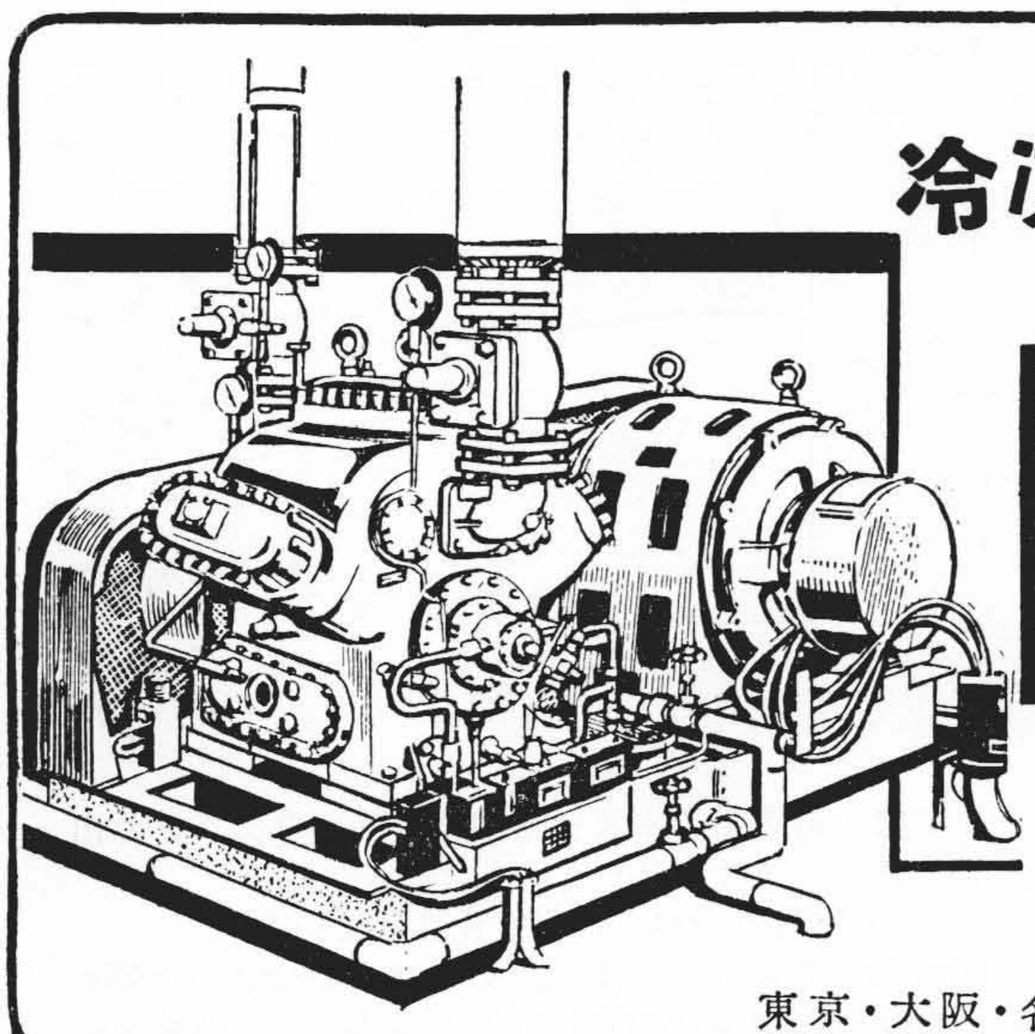
水晶とトランジスタ回路のあいだのインピーダンス整合に関しては，水晶のインピーダンスを低く設計製作することも考えられるが，これは水晶の寸法が大きくなり，値段も高くなり装置に実装するにも不便なので得策ではない。

出力をとりだすにあたつては，ベース側よりとつても安定であり，波形もコレクタ側より歪は少いが出力が小さい。

〔III〕 結　　言

以上主として低周波の水晶発振回路ならびに，出力レベルの変動を防ぐことについて述べたが，不十分な点も多く見当違いの点も多々あることと思う。とくに連結子型発振回路においては発振機構の上にも不明の点があり，これらの開発鮮明については広く御指導御教示をお願いしたい。とくに周波数の高い帯域における水晶発振回路の開発はトランジスタの進歩にともないますます重要になるものと思われる。

終りに，御協力御助言いただいた金石舎研究所の品田氏，林氏に厚く御礼申上げるとともに，御鞭撻下さつた日立製作所戸塚工場内の関係各氏に厚く謝意を表するしだいである。

参 考 文 献

（1） 米山： 九大工学集報 Vol. 27
（2） 鳥崎： 信学誌 Vol. 39 No. 5（昭31年5月）
（3） 三宅，須山； トランジスタ回路研究専門委員会資料 昭30年10月14日
（4） 波多野： 特願 31-6161（昭31年3月12日）
（5） 波多野； 特願 31-3127（昭31年2月10日）