

VVC 다이오드를 사용한 水晶周波數 變調器의 應用

(The Application of Frequency Modulated Quartz
Oscillator Using a V.V.C. Diode.)

鄭 萬 永* · 金 英 雄** · 金 炳 植**

(Chung, Man Yung) (Kim, Yung Ung) (Kim, Byung Sik)

要 約

V.V.C 다이오드를 사용한 水晶周波數 變調方式에 對한 簡單한 紹介와 그의 變調直線性, 變調歪率 및 中心周波數의 安定度等 諸般特性이 携帶用 簡易型 FM 送信機 變調器로서 適合한지를 實驗的結果으로써 說明하였다.

또한 52.750MHz에서 直接周波數變調하는 單一채널 送受信機 및 10.7MHz에서 周波數變調하고 채널發振器에서 나오는 周波數와 合成하여 運用周波數로 하는 2채널 送受信機(無調整으로 40채널)等 二種類의 送受信機를 試作品으로 製作하여 優秀한 綜合特性을 얻었으며 이로써 實用性을 立證하였다.

ABSTRACT

A newly developed quartz frequency modulator utilizing a V.V.C. diode is briefly described.

Its electrical characteristics—including modulation linearity, modulation distortion, and carrier frequency stability depending upon the variation of the environmental temperature and the applied power voltage, etc.—are suitable for the modulator of a mobile or a portable F.M. transmitter according to the experimental results.

The excellent over-all electrical characteristics were proved from the experimental development of the two kinds of transceivers. One is the single channel transceiver which contains a direct frequency modulator at the carrier frequency of 52.750 MHz. The other is the dual channel transceiver (the frequencies are selected from about 40 channels without tuning adjustment) whose operational frequency is composed of a modulated frequency of 10.7 MHz and the frequency generated at a channel control oscillator.

As mentioned above, it is realized that the electrical characteristics of this modulation method are suitable for portable F.M. transceivers.

1. 序 論

最近의 半導體 技術의 發展으로 電壓可變容量 (V.V.C) 다이오드가 同調用으로 中波帶에서는 約 20, 超短波帶에서는 約 5의 容量變化比가 實

用 바이어스 變化範圍內에서 얻어지게 되었다. 여기에 따라 電子式 同調方式이 實用되고 있는데 從來의 可搬用 FM 送信機에서는 大部分 中心周波數를 安定化시키기 위하여 水晶發振子를 使用하기 때문에 發振器後段에 PM을 걸어서 等價의 인 FM波를 얻고 다시 所要 周波數偏移量을 直線範圍內에서 얻기 위하여 遞倍段을 두지 않으면

* 韓國 科學技術 研究所(KIST) 第2研究副所長
** 無線通信研究室員

안되게 되어 있었다. 여기서 水晶發振段에 前述한 容量變化비가 큰 VVC 다이오드를 使用하면 遞倍段을 省略할 수 있을것이 쉽게 생각된다. 이러한 試圖가 最近에는 超短波帶 뿐만아니라 마이크로波帶에서도 實用되기 始作하였는데 여기에 對한 定量的인 解析과 使用 X-tal 및 發振回路에 關聯된 結果는 이미 科技處 研究課題로서 綜合報告한 바가 있으나 여기에서는 가장 最近에 實用化한 小型携帶用 Transceiver 인 PKF-5에 適用한 標準 10.7MHz X-tal 과 52.750MHz X-tal에 關해서 實用特性的 優劣性을 報告드리고자 한다.

2. 方式 比較

가. Reactance 變調方式

本方式에서 水晶發振子에 依한 搬送波와 音聲變調에 依한 被振幅變調波가 直角 Vector 合成으로 이루어지는 位相變化分 $\Delta\theta$ 는 다음 式(1)과 같다.

$$\Delta\theta = \tan^{-1}(Q \frac{\Delta C}{C}) \quad (1)$$

여기서 $C, \Delta C, Q$ 는 各各 Reactance 變調用 tank 回路에 接續된 等價容量, 容量變化分 및 共振回路의 良好度를 나타내며 特히 音聲變化分에 따르는 振幅變化電壓이 等價的인 容量變化分 ΔC 를 나타낸다.

(1)式에서 許容直線範圍는 0.4rad. 밖에 안되기 때문에 ΔC 를 크게 하여도 本變調方式에서는 以上 直線範圍內에서의 變調量을 얻기 困難하므로 그림 1(가)와 같이 반드시 所要變調度를 얻을 수 있을때까지 遞倍段을 두지 않으면 안된다. 따라서 本方式은 不要輻射波와 이것의 原因이 되는 不要遞倍段을 두어야하는 根本的인 缺陷을 벗어날 수가 없다.

나. VVC 다이오드에 依한 水晶周波數變調方式. 水晶發振子에 並列 또는 直列로 VVC 다이오드를 插入하여서 所要 周波數變調波를 얻으려면 水晶發振子の 數拾萬의 Q 값 때문에 빠른 速度로 發振周波數가 應答하는 變化를 하지 못한다. 따라서 普通 Hartley 또는 Colpitz 發振 tank 回路에 VVC 다이오드를 負荷시키고 여기에 四分之一 波長回路를 通하여 水晶發振子로 中心周波數

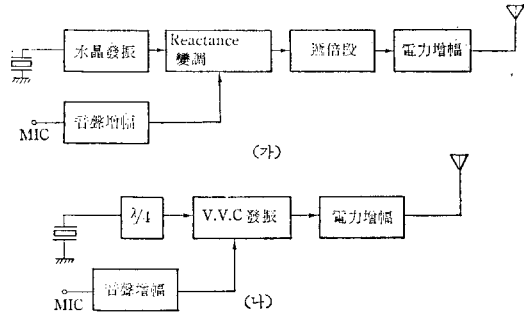


그림 1. (가) Reactance 變調方式의 FM送信機構成

그림 1. (나) V.V.C 다이오드에 依한 直接變調方式의 FM 送信機構成

를 Locking 시키면 VVC 다이오드의 容量變化比 ($\Delta C/C$)와 四分之一 波長回路의 特性임피던스(Z_0)에 따라 빠른 速度의 所要 周波數偏移量과 許容 中心周波數의 安定度를 얻을 수 있게 된다. 即 普通 自由發振을 시키는 tank 回路에 VVC 다이오드를 負荷시켜서 얻어지는 周波數偏移量 Δf 는

$$\Delta f = f_0 \frac{\Delta C}{2C} \quad (2)$$

와 같다. 여기에 四分之一 波長回路를 通하여 水晶發振子를 結合시키면 水晶發振子の 高 Q 값을 나타내는 直列인덕턴스成分 L_s 는 高容量值 K 로 (3)式과 같은 關係로서 等價的으로 置換된다.

$$K = \frac{L_s}{Z_0^2} \quad (3)$$

한편 Δf 의 關係式을 얻기 위하여 그림 2와 같은 發振等價回路를 생각한다.

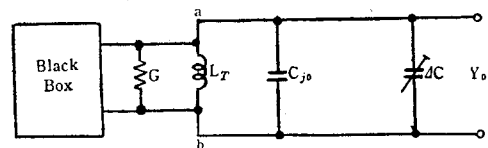


그림 2. 變調共振 等價回路

그림 2에서 VVC 다이오드의 容量變化分을 ΔC , 이로 因한 角周波數 變化分을 $\Delta\omega$ 라면 出力아드미턴스 Y_0 는 다음과 같이 구해진다.

$$Y_0 = G + j(\omega_0 + \Delta\omega)(C_{J_0} - \Delta C) - \frac{j}{(\omega_0 + \Delta\omega)L_T} + jK(\omega_0 + \Delta\omega) \quad (4)$$

(4)式이 發振條件을 滿足하려면 虛數分이 零이 되어야 한다. 여기서 얻어지는 角周波數偏移分

$\Delta\omega$ 는 ΔC , K 와의 사이에서 다음式과 같은 關係에 있다.

$$\Delta\omega = \frac{\omega_0 \Delta C}{2(C_{i_0} + K) - \Delta C} \quad (5)$$

$$\approx \frac{\omega_0 \cdot \Delta C}{2C_{i_0}} \left(\frac{1}{1 + \frac{K}{C_{i_0}}} \right) \quad (6)$$

$$\approx \frac{\omega_0 \cdot \Delta C}{2K} \quad (7)$$

即 $\Delta f = f_0 \frac{\Delta C}{2K}$ (8)

但 $K \gg \Delta C$, C_{i_0}

이와같이 水晶發振子로 Locking 되었을 때의 Δf (8式)와 自由發振回路에서의 Δf (2式)와의 比 S 는 다음과 같다.

$$S = \frac{\Delta f(8式)}{\Delta f(2式)} = \frac{C}{K} \quad (9)$$

一例로서 10.7MHz 水晶發振子の 直列인덕턴스 分 $L_s = 1 \times 10^{-2}(H)$ 이므로 $K = 20,000(PF)$ 가 되고 $C = 40(PF)$ 라 하면 (9)式에서

$$S = \frac{1}{500} \quad (10)$$

가 얻어진다. 即 그림 1(나)의 VVC 다이오드發振段을 2×10^{-3} 倍 安定化시킬 수 있게 되어 自由發振段自體의 安定度가 10^{-2} 이라면 X-tal이 四分一 波長回路를 통한 綜合的인 安定度는 2×10^{-5} 이 된다. 또 이때의 最大周波數偏移量 Δf_{max} 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta f_{max} &= 10.7(MHz) \times \frac{40}{2 \times 20,000} \\ &= 10.7 KHz \end{aligned} \quad (11)$$

따라서 可搬用 FM送信機로서는 充分하다.

3. 實用實驗結果

實用 變調回路로서는 그림 3과 같은 Hartley型 FM發振回路에 X-tal을 四分一 波長 LC π 回路를 通하여 結合시켰다.

가. 變調周波數特性

Δf 를 얻기 위한 變調周波數特性의 實測을 위하여 그림 4와 같이 計器를 連結하고 Function Generator에서 Sinewave가 나오도록 Selector Knob를 맞춘다음 Modulator의 AF input에 넣고 output에 Deviation meter를 연결하여 우선

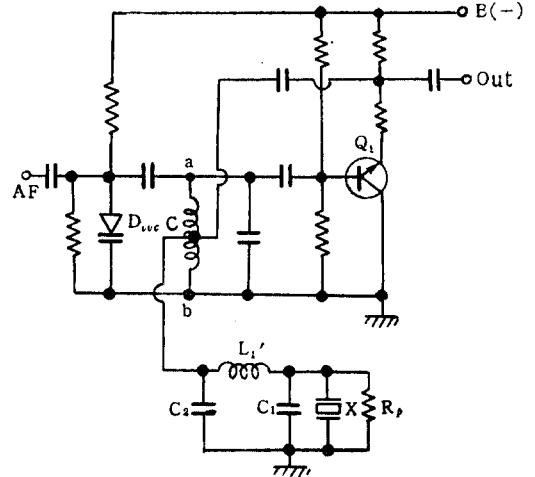


그림 3. VVC 다이오드(D_{vvc})에 의한 水晶周波數 變調發振回路

3KHz의 Deviation을 유지시키면서 Audio Frequency를 300Hz부터 500Hz, 1KHz, 3KHz, 7KHz, 10KHz, 20KHz 등으로 가변시켜 그때마다의 output level을 A.C. Voltmeter로 測定한다. 같은 方法으로 6KHz, 9KHz, 12KHz, 15KHz 등의 Deviation에 對해서도 測定하였다. 또한 搬

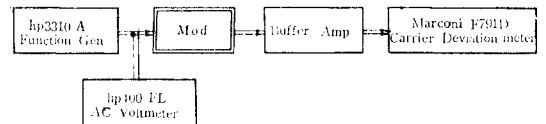


그림 4. Δf 를 얻기 위한 變調周波數特性實測系統圖

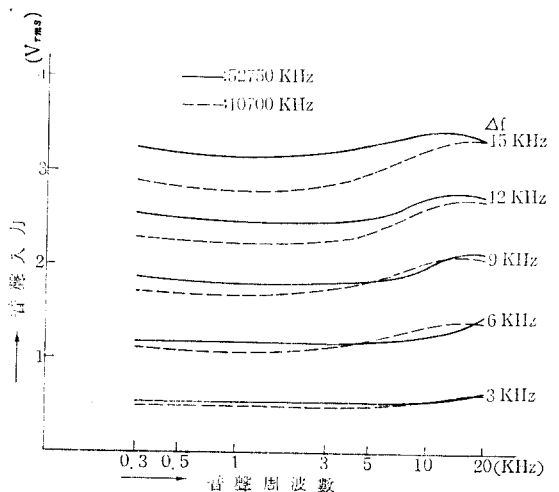


그림 5. Δf 를 얻기 위한 變調周波數特性曲線

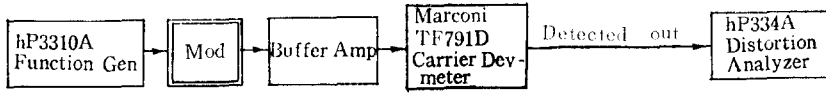


그림 6. 變調歪率特性 實測系統圖

送周波數가 10.7MHz 때와 52.750MHz 의 두가지 境遇를 各各 測定한 結果를 그림 5에 그래프로 表示하였다.

이때의 實用實驗 周波數로서는 10.7MHz 와 52.750MHz 를 擇하여 相互比較를 하였다. 即 그림 5는 $\Delta f=15\text{KHz}$ 까지를 얻기 위한 音聲入力과 周波數特性을 實驗結果로서 나타내며 變調周波數 特性이 10KHz 에서 20KHz 까지 이르면 若干 感度가 떨어지고 直線性도 若干 떨어진다.

그러나 5KHz 以內에서는 直線性이 良好하므로 Transceiver 用으로는 充分하다.

나. 變調歪率特性

變調歪率特性 測定은 그림 6과 같이 計測器를 連結하고 Modulator 의 AF input 에 Function Generator 로 부터 1KHz Sinewave 를 넣어주고 Carrier Deviation meter 의 L. F. output 단자에서 Distortion Analyzer 로 연결하여 測定하되 周波數偏移 Δf 가 3KHz, 6KHz, 9KHz, 12KHz, 15KHz 等일 境遇에 歪率을 測定하였다. 그 結果 그림 7과 같이 $\Delta f=15\text{KHz}$ 까지는 歪率 3% 以內에 들며 $\Delta f=3\text{KHz}$ 以下에서 歪率이 나빠지는 것은 雜音에 依한 $N+D$ 의 影響이 커지기 때문이다. 特히 Transceiver 用으로서는 主로 6~9KHz 의 周波數偏移를 要하므로 歪率은 10.7MHz 의 境遇 1% 以內, 52.750MHz 의 境遇 2% 以內에 들게된다.

다. 周圍溫度變化에 따르는 中心周波數의 安定度

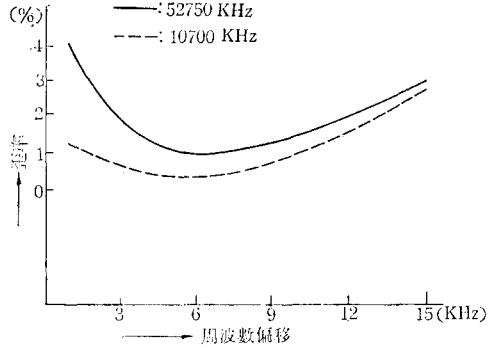


그림 7. 變調歪率特性曲線

그림 8의 系統圖와 같이 計測器를 連結하고 Function Generator 를 off 시킨 상태에서 搬送周波數를 Electronic Counter 로 測定하는데 Modulator 를 Sub Zero Test Apparatus 에 넣고 5°C 씩 變化시킨후 10分씩 두었다가 Electronic Counter 로 中心周波數를 測定하고 다음에 Function Generator 를 on 시켜 一定한 AF input 을 넣었을때의 周波數偏移와 歪率을 測定하였다. 結果的으로 -40°C ~ 60°C 사이에서 周波數偏移와 歪率은 大體로 큰 變動이 없으며 中心周波數의 安定度에 對해서는 그림 9와 같은 結果를 얻었다.

그림 9에서 52.750MHz 의 境遇에는 -35°C 에서 若干 벗어나기 始作하지만 10.7MHz 의 境遇에는 充分히 -40°C 까지도 쓸 수 있음을 알 수 있다.

以上에서 10.7MHz 帶가 FM 送信機로서의 變

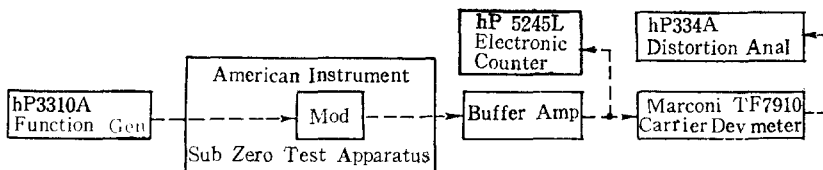


그림 8. 中心周波數의 安定度測定 系統圖

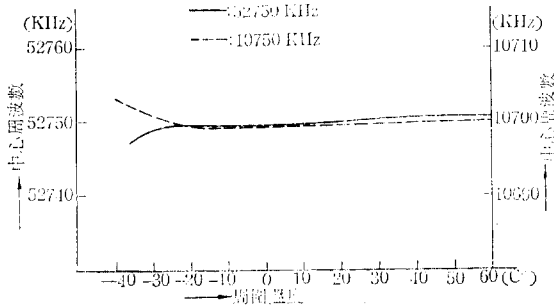


그림 9. 周圍溫度變化에 따른 中心周波數의 安定度曲線
 調特性이 若干 더 좋다고 할 수 있으나 52.750 MHz 帶의 Overtone X-tal 에서도 直接 送信周波數를 變調 發振시킬 수 있다고 할 수 있다.

4. 無線通信機에의 應用

가. 單一周波數 送受信機(PKF-5-1)

그림 10과 같이 送受信의 系統을 構成하였으며 뒤에 보인 試作品 寫眞에서 처럼 機能別로 모놀화 하였다. 그리고 이들을 수용하기 위한 母體基板을 만들어서 電壓安定器, 低周波增幅器, 四分之一 波長回路, 周波數變調器, 第一中間電力增幅器, 第二中間電力增幅器, 高周波電力增幅器, 濾波器 等的 順序로 配置하였다.

送受信機의 動作原理를 說明하면 다음과 같다.

(1) 送信時 音聲에 依하여 送話器에서 유겨된

約 $20mV_{pp}$ 의 電氣信號電壓이 低周波增幅回路에서 所要의 크기로 電壓增幅을 하고 이 信號를 침두쳐 電壓이 最大 6V로 制限하여 過變調되는것을 막게 한다. 卽 周波數偏移는 最大 10KHz로 制限되도록 設計하였다.

(2) 發振變調器에서 나오는 高周波出力을 中間電力增幅器를 통하여 充分히 增幅한후 이 電力으로 C級 終段 電力增幅器가 動作되어 500mW의 出力을 얻었다.

(3) 이 出力은 空中線 整合 및 同調된 電力濾波器를 통하여 장하선륄을 거쳐 24inch 회초리 공중선에서 電波로 輻射된다.

(4) 終段電力增幅器를 除外한 全回路에는 9.5V의 電壓安定回路를 거친 直流電壓이 供給된다.

(5) 本送信機의 全體的인 特性으로서 周圍溫度變化에 따른 中心周波數의 安定度 및 高周波出力의 變化를 그림 11에 보였다.

(6) 周圍溫度變化에 따른 周波數偏移 및 歪率의 變動을 그림 12에 보였다.

(7) 試作品의 內部 寫眞을 그림 16,17에 보였으며 外部寫眞은 그림 18에 보였다.

受信機의 動作原理를 說明하면 다음과 같다.

(1) 信號가 24인치 회초리 空中線을 거쳐 運用周波數 波長에 等價의으로 四分之一 波長이 되도록 장하선륄과 入力同調回路로서 캐스코드 增幅器인 高周波信號 增幅器의 入力側에 印加된다.

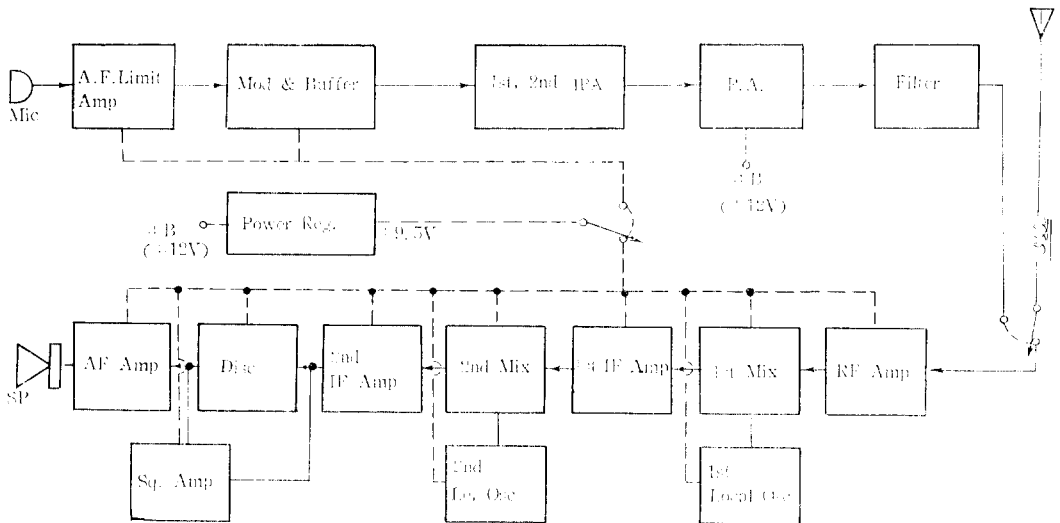


그림 10. 單一周波數 送受信機의 系統圖

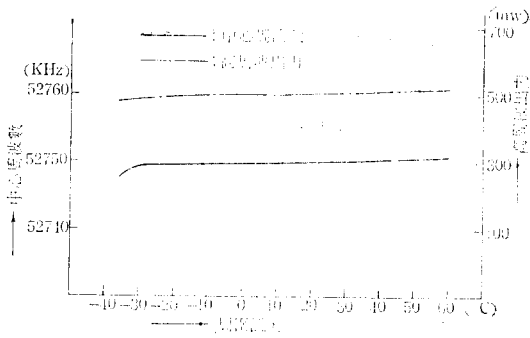


그림 11. 周圍溫度變化에 따른 中心周波數安定度 및 高周波出力

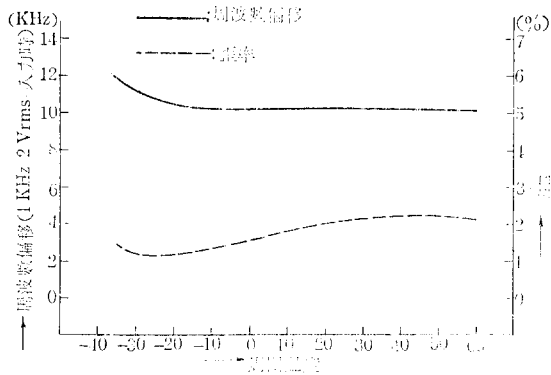


그림 12. 周圍溫度變化에 따른 周波數偏移 및 歪率

여기서 증폭된 고주파信號는 2개의 出力 同調回路로서 第一혼합단 베이스에 印加된다.

(2) 混合段에는 채널 周波數發振器에서 水晶片에 依하여 定하여진 信號電壓이 受信信號 混合段用 완충증폭기를 거쳐 混合段베이스에 印加되어 第一中間周波數인 10.7MHz의 受信信號로 變換된다.

(3) 選擇度を 增加시키고 不要輻射의 信號를 除去하기 위하여 第一中間周波信號는 3段 水晶濾波器를 通한다.

(4) 濾波된 信號는 第一中間周波 增幅器에서 充分한 크기로 增幅되어 第二局部發振器에서 얻어진 11.55MHz의 局部發振電壓과 함께 第二混合段 베이스에 주입 混合되어 第二中間周波數인 455KHz의 信號電壓으로 變換된다.

(5) 第二中間周波信號 增幅段 出力은 판별기 入力信號와 스킨치용 雜音信號로 배분되고 판별기는 계수형 RC 판별기로서 周波數偏移 ±8KHz

의 變調信號를 可聽周波 信號로 檢波한다.

(6) 檢波된 可聽周波 信號는 第一低周波信號 增幅器에서 增幅되고 스킨치增幅器에서 雜音信號를 增幅하여 배압 整流한 直流電壓에 依하여 스 위칭되게 第一低周波 增幅器 베이스와 에미터에 印加된다.

(7) 스킨치 開閉는 수용함 空中線部에 手動으로 선택할 수 있도록 外部로 나와있다. 第一低周波 增幅 및 開閉端을 거쳐 低周波 出力段의 出力은 내장 스피커 및 外部 이어폰 잭에 連結된다.

(8) 受信部 出力段을 除外한 모든 電源은 電壓 變動에 安定하게 하기 위하여 9.5V 電源安定器를 거쳐서 供給된다.

나. 2채널 送受信機(PKF-5-2)

(1) 系統圖

無電機 PKF-5-2는 52MHz 帶의 設計設定된 周波數에서 40個 채널을 運用할 수 있다.

小型化하기 위하여 送信機에는 小型回路基板 10個로 나누어 部品을 組立하여고 受信機에는 小型回路基板 7個로 나누어 部品을 組立하였다. 이들 部品附着部分에 防濕, 防振用 실리콘 수지를 넣었다. 送受信 切換方式은 누름 스위치에 依하여 空中線, 局部發振, 電源等을 供給 혹은 斷切하는 方式이다.

그림 13은 送受信機의 系統圖이다. 信號의 흐름을 확살표로서 表示하였고 回路基板의 構成은 機能別로서 密接한 關係에 있는 回路를 最小面積에 配置할 수 있도록 配線하였다. 小回路基板에는 몇개의 트랜지스터 및 그 부수 素子들로 構成되고 送信機와 受信機 各各의 母體基板을 通하여 다음段으로 信號와 電源이 흐르게 되어 있다.

또한 構成에 있어서 單一周波數 送受信機와의 差異點은 채널발전 및 第一局部發振器가 있어 切換스위치를 통하여 送受信機에 共用으로 使用하는 점과 送信機에는 發振變調器 다음에 周波數混合器, 그 다음 段에 濾波器를 設置하였고 受信機에는 第一混合器 다음에 水晶濾波器를 設置한 점이다.

(2) 送信機

送信機의 構成은 大體로 單一周波數 送信機와

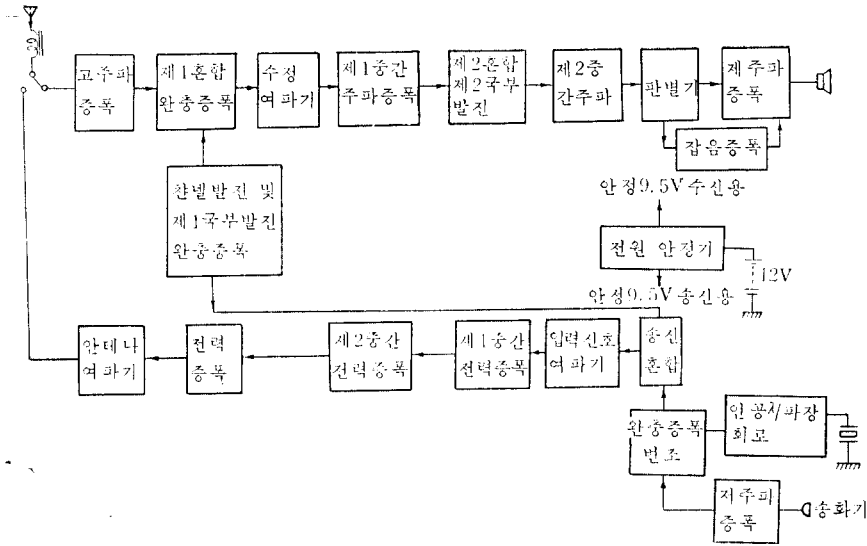


그림 13. 回路 基板別 送受信 系統圖

同一하머 다른점은

첫째 發振變調器의 周波數가 52.750MHz 에 比

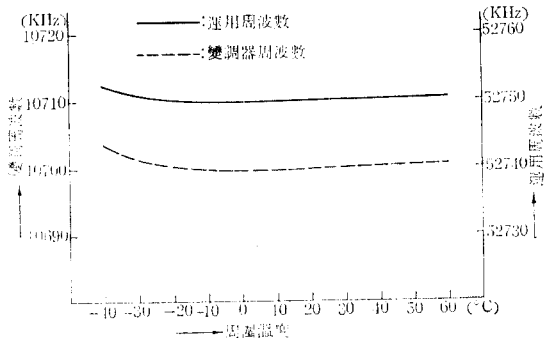


그림 14. 周波溫度變化에 따른 變調周波數 및 運用周波數의 安定度

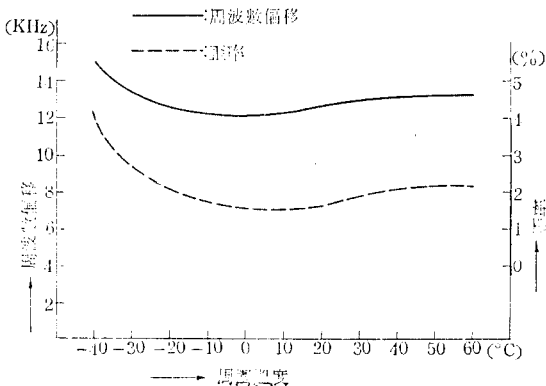


그림 15. 周圍溫度變化에 따른 周波數偏移 및 歪率

하여 10.7MHz 이며

둘째 채널發振器의 周波數가 41.65MHz 부터 42.550MHz 까지 25KHz 간격으로 40個의 周波數로 發振되도록 하였고

셋째 이들 두 周波數를 合成하는 周波數混合器를 넣었고

네째 이들 周波數에서 發生되는 高調波를 除去하기 위하여 混合器 다음에 濾波器를 設置하였다

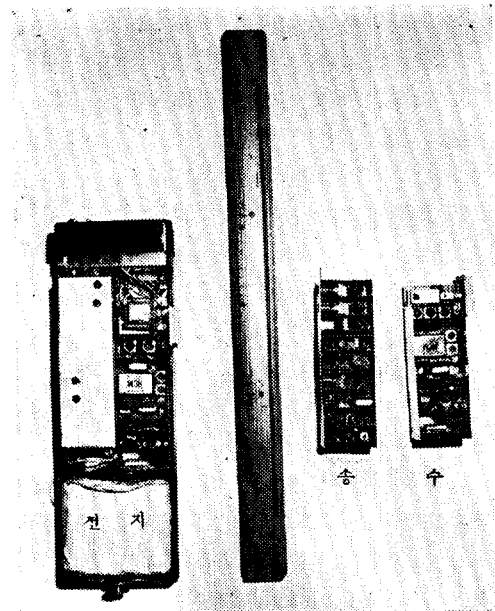


그림 16. 單一周波數 送受信機 內部

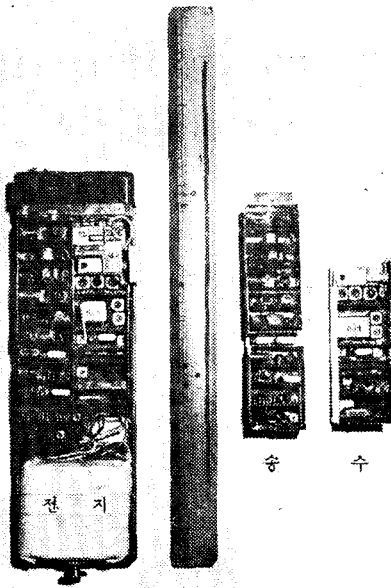


그림 17. 2채널 送受信機의 内部

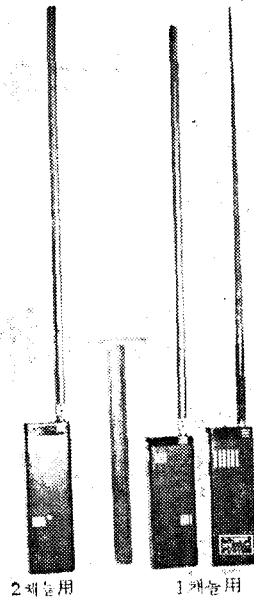


그림 18. 試作品의 外形寫眞
(左: 2채널용, 右: 單一채널용)

(3) 受信機

單一周波數 受信機와 差異點은

첫째 第一局部發振器가 없이 送信機에 設置된 채널發振器에서 나오는 信號를 利用하여 送信周波數와 一致시킨다.

2채널 送信機의 周圍溫度에 따른 變調周波數 및 運用周波數의 安定度에 對한 그래프를 그림14에 보였다. 이 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 周波數 安定度에 있어서 變調周波數나 運用周波數 共히 -40°C 에서 $+60^{\circ}\text{C}$ 까지 사이에서 무난히 使用할 수 있음을 알 수 있다.

또한 周圍溫度變化에 따른 周波數偏移 및 歪率에 對한 그래프를 그림 15에 보였다. 이 그래프에서 알 수 있는바와 같이 周波數偏移은 -40°C 에서 $+60^{\circ}\text{C}$ 까지의 사이에서 12KHz~15KHz로 충분히 使用할 수 있다. 또한 歪率は -20°C 이상에서는 2%以內로서 아주 좋으며 -40°C 까지도 4%以內로 充分히 使用할 수 있다.

또한 KIST에서 開發한 單一周波數 送信機와 2채널 送受信機 試作品의 内部寫眞을 各各 그림 16 및 그림 17에 보였으며 完製品의 外部寫眞을 그림 18에 보였었다(左側이 2채널, 右側이 單一채널의 2가지 모양).

5. 結 言

VVC다이오드 發振回路素子の 溫度補償만 잘 해주면 10.7MHz 帶나 52.750MHz 帶에서 水晶 直接周波數變調가 所要 FM特性을 滿足할 수 있으며 이 方式을 使用한 FM送信機가 携帶用으로서는 가장 有利하다고 할 수 있다. 따라서 超小型의 無電機로서 多方面에 쓸 수 있도록 변형 개발할 여지가 많다고 생각한다.

參 考 文 獻

1. 鄭萬永, 李周衍: VVC 다이오드를 使用한 TV 튜너 (KIEE 講論 8-72)
2. 鄭萬永, 金英雄: 携帶用 FM 通信機 試作(MOST 1969-E-55)
3. 鄭萬永, 金英雄, 金炳植: VVC 다이오드를 使用한 水晶周波數 變調器(KIEE 論文 71-8-5-4)
4. 鄭萬永, 金斗煥, 金英雄, 金炳植: 高出力 高感度 트랜시버 제작에 관한 연구(KIST)
5. 鄭萬永, 金應鎭: 空中線과 電波傳播
6. 柳昌憲外 2: 濾波回路
7. Ernst A. Guillemin: Synthesis of passive Networks.
8. Rudolf. Graf: Electronic Design Data Book.