

技術解說

電壓으로調節되는可變容量에依한同調

(Voltage Variable Capacitor Tuning)

MARCUS H. NORWOOD AND EPHRAIM SHATZ

朴 健 作* 譯

要 約

本 解 說 은 “電 壓 으로 調 節 되는 可 變 容 量 到 依 한 同 調 (Voltage Variable Capacitor Tuning)” 의 發 達 史, 理 論, 特 性, 應 用 및 將 來 展 望 到 對 해 서 言 及 한 だ.

모 든 式 들 은 指 數 則 函 數, 即 x^n 에 比 例 하 는 不 純 物 分 布 및 $(V+V_0)^{-n}$ 에 比 例 하 는 差 캐 퍼 시 터 스 의 二 가 지 一 般 指 數 項 으로 記 述 되 는 데 이 指 數 項 들 의 役 割 到 對 해 서 는 “電 壓 으로 調 節 되는 發 振 器 (VCO)” 의 理 論, 溫 度 드 리 프 트 및 直 線 性 과 FM 變 調 器 의 混 變 調 中 서 說 明 된 だ. 또 한 本 文 의 內 容 을 補 強 하 기 爲 하 여 많 은 論 文 및 報 告 文 들 从 부 從 重 要 結 果 를 引 用 하 며 本 文 全 體 에 걸 쳐 $n=2$ 일 때 의 要 求 事 項 到 對 해 서 풀 이 한 だ.

序 論

“Varactor” 라는 말은 variable reactor 从 부 從 來 出 來 的 인 데 그 뜻 은 그 리 액 터 스 가 調 節 方 式 (이 경 우 에 는 直 流 바이 어 스 電 壓) 에 따 라 可 變 될 수 있 는 裝 置 을 말 한 だ.

백 렉 터 다이 오 드 는 파 라 메 트 리 크 增 幅 器, 高 周 波 發 生 器, 周 波 數 變 換, 檢 波 및 電 壓 可 變 同 調 등 에 널 리 使 用 된 だ. 이 들 여 러 가 지 應 用 의 關 發 은 트 란 지 스테 및 半 導 體 技 術 의 發 展 과 더 불 어 서 로 並 行 하 여 進 展 되 었 으 며 이 部 門 의 어 느 하 나 의 發 展 은 다 른 것 에 營 養 을 주 었 고 각 기 의 發 達 史 는 나 머 지 다 른 것 과 密 接 한 聯 關 을 갖 고 있 だ. 이 解 說 文 에 서 는 이 들 裝 置 의 同 調 用 途 에

對 해 서 論 議 되 고 解 說 全 體 에 걸 쳐 業 界 의 公 認 用 語 인 V. V. C (Voltage Variable Capacitor) 라는 말 을 使 用 한 だ. VVC 到 對 한 商 號 는 여 러 가 지 가 있 는 데, 예 를 들 면 TRW Semiconductor 에 서 는 Varicap, Motorola 에 서 는 Epicap, Philco-Ford 에 서 는 Voltacap 이 라는 名 稱 을 使 用 하 고 있 だ.

發 達 史

VVC 의 發 達 史 는 다 下 四 段 階 를 運 해 進 展 되 었 だ.

- (1) 現 象 의 實 驗 의 發 見
- (2) 理 論 의 發 展
- (3) 工 業 市 場 과 製 造
- (4) 回 路 및 시 스템 에 的 應 用

各 段 階 에 서 의 重 要 論 文 및 事 項 을 要 約 해 本 だ. 整 流 接 點 에 서 의 캐 퍼 시 터 스 를 發 見 한 것 은 1929 年 으 로 溯 及 된 だ.

Schottky 와 Deutschmann⁽¹⁾ 이 이 現 象 에 對 해 最 初 로 充 分 한 研 究 를 行 하 여 測 定 回 路 를 發 表 하 였 だ. 酸 化 鋇 에 對 한 데 이 타 는 初 期 文 獻 과 Henish 의 冊⁽²⁾ 에 서 查 找 可 能 有 一 으 며 Joffe⁽³⁾ 에 依 해 쓰 여 진 “Schottky 의 初 期 論 文 到 對 한 概 觀 을 보 면 더 나 出 內 容 이 報 告 되 어 있 だ. 이 初 期 研 究 의 大 部 分 은 半 導 體 即 p-n 接 合 보 다 는 金 屬 一 半 導 體 境 界 整 流 器 에 對 해 서 行 하 여 졌 だ. 이 發 見 이 있 은 뒤 곧 理 論 의 進 展 이 있 었 지 만 進 展 狀 況 은 느 렸 だ. Schottky⁽⁴⁾ ⁽⁵⁾ 自 身 이 1939 年 과 1942 年 의 論 文 中 에 서 그 理 論 을 確 立 하 였 だ. 이 研 究 는 또 한 Joffe⁽³⁾ 에 依 해 要 約 되 었 だ. 同 時 에 Mott⁽⁶⁾, Fan⁽⁷⁾ 과 같 은 人 들 은 보 다 根

* 韓 國 科 學 技 術 研 究 所

본적인 見地에서 金屬-半導體接點의 理論을 發展시키고 있었다. 1947年에서 1949년까지 Purdue 大學^{(8)~(10)}의 한 그룹에 의해 게르마늄 p-n 접합에 對한 여러 論文 및 抄錄이 發刊되었으며, 같은 時期에 Bell 研究所에서 半導體科學者의 한 그룹(Pearson, Schokley, Gaucher, Sparks 및 Teal)은 理論 및 實驗의 두가지 見地에서 p-n 접합에 對해 연구하고 있었다. 初期의 論文들^{(11), (12)}은 이 같은 努力으로부터 나온 것이다. 1949年 以前의 整流器와 이의 캐퍼시턴스 效果에 대한 關心事는 檢波器, 周波數變換器, 周波數遞倍器 등과 같은 마이크로波 및 레이더 시스템에서의 用途에 集中되었다. 點接觸과 p-n 접합裝置에 대한 第二次世界大戰前 또는 大戰中의 研究는 Torry와 Whitmer⁽¹³⁾가 쓴 "Crystal Rectifiers"라는 冊에 記述되어 있다. 點接觸整流器에 對한 複合結晶실리콘의 用途에 關한 最初의 文獻가운데 하나가 Scaff와ohl⁽¹⁴⁾에 의한 것이었고 1949년에 Schokley⁽¹⁵⁾는 p-n 접합에 대한 그의 유명한 論文을 發表하였다. 트랜지스터와 다이오드에 關한 모든 樣相에 있어서 Bell 研究所에서의 研究는 熱情的인 것이었다. Schokley의 論文은 다이오드에 있어서 電流-電壓 關係에 對한 보다 複雜한 式을 誘導했을 뿐만 아니라 캐퍼시턴스 效果를 考慮하였다. 그는 靜電的 理論에 Debye length 概念을 導入했고 Schottky理論은 一般理論의 한 특수경우라는 點을 證明하였다.

또 한편으로 그의 理論은 실험데이터와 마찬가지로 본래의 Schottky의 理論이 大部分의 裝置에 대해 놀랄만하게 들어맞는 點을 證明하였다. Schokley의 論文이 發表된 以來 많은 사람들^{(16)~(24)}이 여러가지 裝置의 構造에 대한 設計式을 만들어 내기위해 Poisson 微分方程式의 近似值 또는 數值解를 使用하였다.

J. L. Moll⁽²⁵⁾이 쓴 "Physics of Semiconductor"라는 冊이 지금까지 가장 훌륭하게 Schokley論文에 對해 論하고 있으며 Schokley論文의 一般問題를 싣고 있다.

最近 二年동안의 接合部에서 캐퍼시턴스 理論

은 Chang⁽²⁶⁾ (27)에 의해 쓰여진 두 篇의 論文 및 Gummel, Scharfetter⁽²⁸⁾에 의해 쓰여진 한 篇의 論文을 보면 알 수 있다. 再生技術과 生産性 있는 技術로 p-n 접합이 開發되자 業界로부터의 認識이 始作되었다. 1950年에서 1952년까지 3年間의 空白期가 지나자 세가지 技術이 제가끔 가능해 보였다. 트랜지스터나 다이오드가 擴散⁽²⁹⁾, 成長⁽³⁰⁾ 및 合金⁽³¹⁾ 技術에 의해 接點을 形成하는 물질 속에 만들어졌던 것이다. 合金接合(alloyed junction)은 최초의 正確한 階段接合이었으므로 VVC同調의 發達史를 이야기하는데 특히 重要な 것이다. 階段接合이 傾斜接合보다 캐퍼시턴스의 電壓에 대한 感度가 더 높다는 것은 뒤에서 說明하겠다. 單結晶실리콘 技術은 실리콘에서의 成長 p-n 접합의 發見에 대한 論文들^{(32) (33)}과 더불어 1949年 정도로 일찌기 出發하였다. 아마도 이는 오늘날 실리콘 技術의 出發이었겠지만 生産技術에는 適合치 못한 質의 것이었다. 1956년에 Giacoletto와 O'Connell⁽³⁴⁾, 은 UHF周波數帶에서 使用하기 위한 實用게르마늄 VVC를 만들어 내었다. 3年後에는 表面狀態技術이 發達하여 Sawyer⁽³⁵⁾는 이들 裝置의 損失係數 Q와 表面 및 室溫에 따른 變化에 關한 理解를 갖게 되었다. Uhler⁽³⁶⁾는 檢波器, 高周波發生器, 周波數變換, 同調等を 包含한 많은 高周波應用에서의 半導體다이오드의 使用에 대해 說明하였다. 이 多樣성에 대한 또 다른 論文이 Forster와 Ryder⁽³⁷⁾에 의해 뒤에 發表되었다. 1958년에 Pacific Semuctors Inc.⁽³⁸⁾ (現名稱: TRW Semiconductors Inc.)는 Varicap이라는 商號를 가진 실리콘 VVC를 市場에 내놓았다. 1958년부터 現在까지 여러 商業雜誌나 市場에 나온 여러가지 VVC의 長點을 說明하고 있는 學術誌에 많은 論文들이 실려 있다. 初期의 生産業體들 가운데는 Pacific Semiconductor Inc., G & E, Bradley Ltd., Brush Crystal Co. Ltd., Philco, Motorola Semiconductors, Hughes International Ltd., Microwave and Semiconductor Devices Ltd. 등이 있었다. 최근 수년동안 技術의 進歩는 계속되어 왔으며 여러

편의 論文들⁽⁴⁹⁾⁻⁽⁵³⁾이 이들 裝置의 設計, 工程 및 知識의 改善에 대해 記述하고 있다. 1968년에는 VVC의 生産業體數가 最少限 15個는 될 것이다. 이들 가운데 적어도 넷은 過敏裝置, 다시 말해서 0.5 이상의 電壓指數를 가진 $(n > \frac{1}{2})$ VVC를 市場에 내 놓고 있다. 이들 장치에 대해서는 마지막 節에서 論하였다. 회로 및 시스템에 대한 生産過程은 1961年頃부터 始作되었다. 물건이 처음 생산되어서 대규모로 보급되기까지는 이렇게 3년이 걸리는 것이 電子工業에서 하나의 전형적인 樣相인 모양이다. 최근 6년간 VVC의 使用에 대해 간추려 말하면 이 장치들은 狹小帶域시스템(20%比 이하의)에서 매우 有用하고 實用的이라는 것이 證明되었으며 直流바이어스에 대한 交流信號 크기 比가 15% 以上인 小信號應用에서 一般적으로 有用하다고 말할 수 있다.

회로設計者들에게 가장 문제가 되는 요소로는 (1) 트래킹 (2) 相互變調歪(intermodulation distortion) (3) 混變調歪(cross-modulation distortion)

(4) 大容量 VVC의 利用力 (5) Q등이 있다. 이들 요소에 대해서는 뒤에 나오는 裝置特性에 관한 節에서 살피겠다. VVC는 적어도 아래에 기술되는 바와 같은 세가지 시스템에 있어서 표준 부품으로 應用되고 있다. 가장 크게 應用되고 있는 것은 FM 및 TV 受像機用 自動周波數調整(AFC)회로이다. 또한 軍事的 航空用 라디오 市場에 대한 送受信機의 電壓調節發振器(VCO)에 廣範圍하게 使用되고 있다. 세번째 應用은 軍事救助標識用 小帶域 FM變調에 對한 應用이다.

受信機用同調器 및 能動濾波器에 대한 市場은 아직 搖籃期여서 開發中에 있다고 하겠다. 지난 3년 동안에 General Dynamics, Avco, Airborne Laboratory와 같은 會社들에 依해 政府用 受信機應用에 관한 상당한 研究結果가 發表되었다.

이들 계획가운데 技巧한 軍事用 受信機의 前端同調가 實行 可能한 것으로 밝혀졌다. 이러한 受信機에 대한 信賴性和 經濟성은 아직 政府當局者에 依해 評價되고 있는 중이다. 몇가지 부수적인 小販路 應用品目으로서 影像記錄計에서

의 器具使用 및 지연선로의 同調用 搬送增幅器 등과 같은 것이 있다. 새로운 用途들이 발달 발표되고 있다. 應用의 現況에 대해서는 1967년에 있는 WESCON會合에서의 一連의 다섯 論文에 잘 요약되어 있다. Roza⁽⁵⁷⁾와 Janning⁽⁵⁸⁾의 논문은 回路 및 시스템의 觀點에 대해 설명하고 있다. Schaffner⁽⁵⁹⁾, Norris, Heidenrech⁽⁶⁰⁾에 의한 논문들은 販賣者와 물건의 立場에 대해 記述하고 있다. DeCola⁽⁶¹⁾의 論文은 VVC의 歪와 離調效果를 數學的으로 解析하여 나타내었으며 장래 AM 및 FM 受信機에 대한 VVC同調의 다소 含蓄性을 指適하였다.

裝置理論

여기에 記述된 理論은 Schottky의 것과 유사하며 Schockley의 完全한 理論의 近似解析 內容을 소개한다. 단 逆바이어스인때 및 定常狀態의 電位分布를 取扱하며 아래와 같은 假定을 한다.

(1) 接合內部에는 移動電荷가 없으며

(2) 이온화된 空間電荷層과 隣接 p와 n型 領域사이의 轉移는 돌연한(abrupt) 것이다.

이들 近似解는 大部分의 實際裝置에 대해 놀랄 정도로 精確히 들어 맞는다. 그림1은 바이어스 條件에 따른 p-n接合에서 일어나는 狀態를 표시하고 있다. 바이어스가 없을 때 이온화된 도너와 액셉터 原子는 空乏層을 만들어 領域을 通過하는 多數캐리어의 運動을 制限하는 障壁을 形成한다. 障壁의 크기(接觸電位)는 半導體의 帶域理論과 平衡條件으로부터 결정된다. 접촉전위 V의 크기에 대한 표현식은 유도되어 있다⁽⁶²⁾

⁽⁶³⁾ 1949年 이후 여러 사람들이⁽¹⁹⁾⁽²⁷⁾⁽²⁸⁾⁽⁵⁰⁾ 接觸電位の 크기에 대한 복잡한 이론을 유도하였고 實驗的測定으로부터 이를 설명하였다. 도너와 액셉터가 이온화된 逆바이어스에 있어서는 純電荷는 接合部로부터 흘러 달아나고 空間電荷 領域은 부가전위를 유지하며 넓어진다. 電荷가 電位 V를 印加해서 移動하였다는 사실은 裝置가 캐퍼시터로서 作用한다는 것을 意味한다. 아래에 解析을 簡略化하여 이 差캐퍼시턴스(differential capacitance)에 對한 式을 誘導하며 電

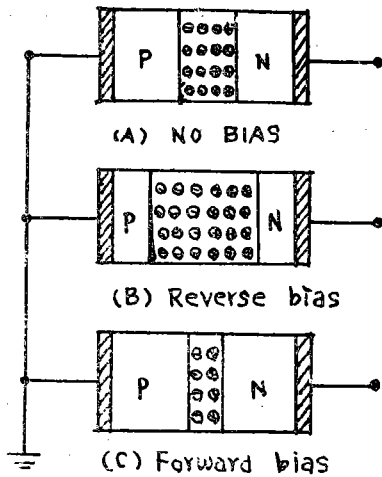


그림 1. 順바이어스, 逆바이어스, 無바이어스때의 이온화된 도너 및 액셉터의 2層 電荷分佈를 표시하는 空乏層모형

位, 電界, 最大電界, 및 差캐퍼시턴스가 結晶內 不純物原子的 分佈에 따라 이 差캐퍼시턴스가 어떻게 변하나를 보여준다. 그림 2는 이를 해석 하기 위한 數學的模型을 表示하고 있다.

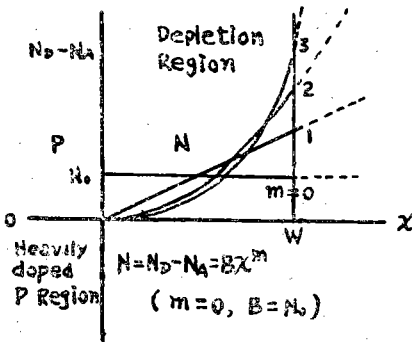


그림 2. 一般化한 階段狀 不純物分佈에 대한 數學的 模型

일반階段接合은 $m=0$
 線形傾斜接合은 $m=1$

도핑이 아주 많이 된 p-領域은 空之領域境界가 n型物質內에서 일어나는 接合部の 왼쪽에 있다고 가정한다. 이러한 階段狀面間(abrupt interface)은 實際에 있어서 合金 및 擴散接合속에서 얻어질 수 있다. 接合部の 靜電作用을 얻자면 電位 ϕ 를 位置 x 의 函數로 求하기 위해

次元 Poisson方程式을 두번 積分해야 된다. 이 관계는 다음과 같이 주어진다.

$$\nabla^2 \phi = -\frac{9(N_D - N_A)}{K \epsilon_0} \quad (1)$$

지금 電力則不純物分佈를 位置의 函數로 나타낼 수 있다고 하자. 0次分佈는 合金에 依해 쉽게 얻어질 수 있다. 그밖에 다른 次의 分佈도 原理上으로는 積層成長法 (epitaxial growth procedure)에 의해 얻을 수 있다. 그림2와 같이 圖解된 一般模型은 다음과 같이 표시된다.

$$N = N_D - N_A = Bx^m \quad \text{여기서 } B = N_0 \quad (m=0) \quad (2)$$

境界條件은

$$\phi(0) = 0; \phi(W) = V + V_0 \quad (3)$$

式(3)은 2階微分方程式의 解에 對한 境界條件이다. 點 W에서의 電位는 印加電位 V 와 接觸電位 V_0 둘다를 포함한다. 電壓計에 依해 端子에서 測定된 量은 印加電位 V 이다. 式(4)는 Poisson 方程式의 解인데 電位를 減少位置變數 $y = x/W$ 의 函數로서 나타내고 있다. 式(5)는 電位의 負勾配로부터 구할 수 있는 어떠한 點에서의 電界를 나타낸다.

$$\phi(y) = (V + V_0)y + \frac{qBW^{(m+2)}y(1-y^{(m+1)})}{K\epsilon_0(m+1)(m+2)} \quad (4)$$

$$E(y) = -\frac{(V + V_0)}{W} - \frac{qBW^{(m+1)}(1 - (m+2)y^{(m+1)})}{K\epsilon_0(m+1)(m+2)} \quad (5)$$

空乏層의 幅 W 는 다른 境界條件, 즉 變位벡터는 어느 面間에서도 連續이라는 靜電理論의 原理를 適用시킴으로써 구할 수 있다. 電界, 따라서 變位벡터는 n型 多數캐리어領域에서는 本質的으로 0이다. 그래서 電界에 대한 式(5)는 $x=W(y=1)$ 에서 0으로 等式化할 수 있다. 그 結果式이 式(6)이다.

$$W = \left(\frac{K \epsilon_0 (m+2) (V + V_0)}{q B} \right)^{1/(m+2)}$$

m 의 모든 值에 대해서 最大電界는 $x=0$ 에서 일어난다. 이 때의 E_{max} 를 式(7)에 보였는데 이 式은 式(6)에서 空乏層에 대한 式을 式(5)에 代入하여 $x=y=0$ 으로 놓음으로써 구해진다.

$$E_{max} = -\frac{(m+2)}{(m+1)} \left(\frac{qB(V + V_0)}{K \epsilon_0 (m+2)} \right)^{1/(m+2)} \quad (7)$$

$x=0$ 에서 이 面間의 바로 왼쪽에서의 電荷密度는 오른쪽에서의 電荷密度보다 10의 몇乘倍 정도로 크다. 이 面間은 金屬上에서의 電荷密度가 誘電體內에서의 變位벡터와 같은 平行板캐퍼시터에서 金屬-絶緣物의 面間처럼 취급될 수 있다. 이 關係는 電磁理論의⁽⁶⁴⁾ 冊에서도 찾아볼 수 있다. 式(8)에서 Q' 는 캐퍼시터의 全電荷이고 A 는 斷面積, K 는 半導體物質의 誘電常數, ϵ_0 는 自由空間에서의 誘電率($8.85 \times 10^{-12} \text{F/m}$)이다. C 가 裝置의 差캐퍼시턴스라고 하면 그때 c 는 式(9)에서의와 같이 定義되며 이는 單位面積當의 差캐퍼시턴스이다. 여기서 非線型裝置에서의 差캐퍼시턴스는 全캐퍼시턴스와 다르다는 것을 유의해야 한다.

$$Q' / A = D_n = K \epsilon_0 E_{\max} \quad (8)$$

$$c = \frac{C}{A} = \frac{1}{A} \frac{dQ'}{dV} = K \epsilon_0 \frac{d E_{\max}}{dV} \quad (9)$$

많은 사람들이 VVC를 平行板 캐퍼시터처럼 取扱했으나 이 相似法은 실통치가 못하며 이들 장치에 대한 막연하고 불필요한 사고방식을 나타내고 있다.

差캐퍼시턴스에 대한 一般式은 다음과 같다.

$$C = \left(\frac{qB(K\epsilon_0)^{(m+1)}}{(m+2)(V+V_0)} \right)^{1/(m+2)} \quad (10)$$

式(11)은 簡略解析의 가장 중요한 結果, 즉 캐퍼시턴스는 電力則에 依해 電壓에 따라 變하고 이 指數는 不純物分布의 指數에 關係된다는 것을 말하고 있다.

이 式으로부터 關係式(12)가 얻어진다.

$$C_{cc} (V+V_0)^{-1/(m+2)} = (V+V_0)^{-n} \quad (11)$$

$$n = 1'/(m+2) \quad (12)$$

表1은 여러值에 대한 n 과 m 사이의 關係를 표시한다.

表 1

| | | | | | | |
|------------|------|-------|-----|-----|-----|---|
| 不純物指數(m) | -3/2 | -1 | 0 | 1 | 2 | 3 |
| 캐퍼시턴스指數(n) | 2 | 1 1/2 | 1/3 | 1/4 | 1/5 | |

$m=0$ 은 階段接合에 該當하고, $m=1$ 은 傾斜接合에 該當한다. $m=-1$ 과 $-3/2$ 은 過敏裝置(hypersensitive devices)의 例이며 이들은 回路의 觀點에서 볼 때 대단히 重要的 것들이다. 이

들을 市場에 내놓고 있는 여러 製造會社들은 에 피택설 成長法 혹은 特殊擴散法에 依하여 이를 生産해 내고 있다. 表 II는 흔히 文獻속에 記述되는 階段接合과 傾斜接合에 대해 式(6)과 (10)으로부터 얻어진 空乏層幅 및 差캐퍼시턴스에 대한 表現式들이다.

表 2

| $m=0$ | $m=1$ |
|---|---|
| $W = \left[\frac{2K\epsilon_0(V+V_0)}{qN_0} \right]^{1/3}$ | $W = \frac{3K\epsilon_0(V+V_0)}{qB}$ |
| $c = \left[\frac{qN_0K\epsilon_0}{2(V+V_0)} \right]^{1/2}$ | $c = \left[\frac{qB(K\epsilon_0)^2}{3(V+V_0)} \right]^{1/3}$ |

階段接合에 대한 式은 어느 原文에나 精確히 記述되는 式이며 線形 傾斜接合($m=1$)에 대한 표현式은 面間의 한쪽 面에 依해서만이 空乏運動을 허용하기 때문에 숫자로 표시한 係數에서와는 약간 다르다. 흔히 표시되는 公式은 逆바 이어스가 걸렸을 때 서로 멀어져 움직이는 양쪽 面間을 가진 對稱分布에 대한 것이다. 表 II의 表現式에서 캐퍼시턴스의 값이 2倍로 바뀌고 電壓의 값이 半으로 전환된다면 通常對稱關係가 얻어진다. 이 解析法의 중요한 點은 一般方式으로 係數를 다룬다는 점과 物理的量的 指數關係에 力點을 둔다는 것이었다. 또한 式이 (一) 值이면 特異點이 原點에서 나타나므로 負가 되어서는 안 된다는 點에 留意해야 한다. 그때의 모형은 $x=0$ 에서 무한대의 도너濃도와 무한대의 電位曲率을 나타낸을 의미한다. 따라서 이 問題를 풀기 위해 原點에서의 不純物 分布를 設定함에 있어서 特別한 注意가 취해져야만 한다. Sukegawa, Sakurai와 Nishizawa⁽⁵³⁾는 高周波에서 過敏도와 Q사이의 妥協點까지 參酌하여 가며 이 問題를 아주 상세히 取扱하였다. 이 부분에 대해 자세히 알고자 할 때는 이들의 論文을 찾아 볼 필요성이 있다. 앞의 解析에 있어서 숫자로 주어지는 係數가 高階段接合에 대해서는 妥當치 못한 반면 電位, 電界 및 캐퍼시턴스의 指數則 變數의 指數들은 Sukegawa等⁽⁵³⁾이 表示한 것들과 一致한다. VVC를 平行板캐퍼시턴

스로 相似시키자면 式(6)에 式(10)을 乘하면 되는데 그 결과는 式(13)과 같이 간단히 表示된다. 몇몇 사람들이 지적했듯이 平行板캐퍼시터는 어떠한 指數値에 대해서도 분명히 成立한다. 이 式은 差캐퍼시턴스에 대해서만 成立하던 全캐퍼시턴스에 대해서는 성립하지 않는다.

$$cW = K\epsilon_0 \quad (13)$$

指數則 不純物分布만이 우리의 關心事는 아니다. 擴散構造에 있어서 Gauss函數나 誤差函數分布도 구해질 수 있는 것이다. Pritchard, Lawrence와 Warner⁽²³⁾가 함께 쓴 論文과 MacDonald 그룹⁽²²⁾이 쓴 論文을 보면 이 경우에 대한 解析을 하였다. Giacoletto⁽¹⁹⁾는 不純物の 任意分布에 대한 경우에 대하여 研究를 행하여 어떠한 分布에도 適用할 수 있는 一般關係를 만들어 내었다. 式(14)는 잘 알려진 LC回路網에 대한 共振周波數公式이다. 式(14)에 式(11)을 代入하면 바이어스 電壓에 따른 共振周波數의 變化式이 얻어진다. $m = -3/2$ ($n = 2$)의 不純物分布에 대한 共振周波數는 바이어스 電壓에 따라 線形的으로 變化한다.

$$W_r = 2\pi f_r = (LC)^{-1/2} \quad (14)$$

$$f_{r\infty} (V + V_0)^{1/(2m+4)} = (V + V_0)^{n/2} \quad (15)$$

이 裝置의 作用은 周波數變調의 利點, 廣帶域 트래킹 및 歪⁽⁶¹⁾의 除去때문에 回路設計者들에게는 대단한 關心事이다.

裝置特性

이 節에서는 回路設計者들의 關心事인 主要한 裝置特性에 대해 論하겠다. 이들 特性은 等價回路와 典型的인 合金型裝置 ($m = 0, n = 1/2$)에 대한 模型을 써서 論한다. 그림3은 一般 VVC와 Varactor에 대한 等價回路를 표시하고 있다.

그림 4는 裝置에서의 不純物分布와 그 等價回

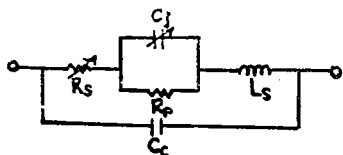


그림 3. VVC等價回路

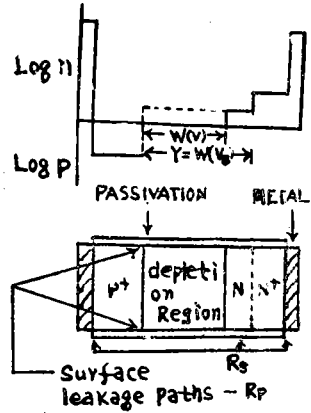


그림 4. 自由캐리어 分布를 表示하는 VVC의 物理的 模型

로에 該當하는 物理的 模型이다.

Y 는 다이오드의 베이스 두께이다. 그림3에서 C_j 는 可變空乏層캐퍼시턴스, R_s 는 直列抵抗(接觸點, 리드 및 素體抵抗), R_p 는 接合部に 걸친 並列 즉 漏泄抵抗이다. 케이스 캐퍼시턴스 C_c 와 리드 인덕턴스 L_s 는 Scharffner⁽⁵⁹⁾에 의해 논의된 바와 같이 UHF 및 마이크로웨이브 주파수에서는 重要한 量이다. C_c 나 L_s 의 寄生效果에 대한 마이크로웨이브이 關係事項에 대해서는 뒷 節의 回路 및 시스템 應用篇에서 더 論하기로 한다.

降服電壓

接合部가 逆바이어스된 때 큰 電界가 空乏層內에 存在한다. 電壓이 增加됨에 따라 이 電界는 增加하여 空乏層을 通過하는 熱勵起 캐리어들이 衝突에 依하여 附隨的으로 正孔-電子雙을 勵起시키게 된다. 이 正孔-電子雙들은 차례로 追加雙을 勵起시켜 累積效果, 다시 말해서 캐리어의 avalanche效果를 초래한다.

過傳導를 막자면 avalanche가 일어나는 이 電壓 V_B 가 VVC 調節範圍의 最上限值로 되어야 한다. 또한 이 V_B 는 最小캐퍼시턴스 C_{min} 을 決定해 준다. 降服電壓은 도핑레벨⁽⁶⁶⁾, grade const(Moll⁽²⁵⁾을 참조: P235式(7))와 接合部彎曲⁽⁶⁷⁾에 따라 결정된다. 高階段캐퍼시턴스 구조⁽⁵³⁾에서는 解析이 複雜하다. 逆降服電壓은 比較的 溫度變化에 無感하다. 실리콘에 대한 係數는 降服電壓 約 5V에 대해 0이며 (+)溫度係數가

約 0.1V/°C되는 100V에서는 거의 線形에 가깝다.

漏泄電流

漏泄電流는 等價回路에서 分路抵抗 R_p 에 依해 決定되며 素體擴散電流, 電荷勵起電流, 表面漏泄電流로 構成된다. 表面漏泄은 오래동안 主要問題로 되어 있으나 廣範圍한 表面研究^{(35), (48), (69)}의 결과 오늘날의 裝置에서는 거의 이 問題를 除去하였다. 電壓에 따른 누설전류의 變化는 物質에 따라 다르다. 게르마늄에서는 사교적 전압변화에 無感한 擴散電流가 가장 支配的이며 실리콘에서의 擴散電流는 約 175°C까지는 별 문제가 안 되므로 電荷勵起 혹은 表面漏泄電流가 支配的이다. 重荷勵起電流는 電壓의 函數인 空乏層 두께에 比例한다. 게르마늄 장치에서의 누설전류는 每 30°C마다 10배씩 增加하는 반면 실리콘에서는 每 11°C마다 2배씩 增加한다. 이들 値는 많은 溫度係數가 포함되기 때문에 近似 値들이며 漏泄電流에 대한 下限值로서 취급될 수 있다.

良好係數(Q)

VVC의 効率は 放出에너지에 對한 蓄積에너지의 比인 良好係數 Q로서 表示된다. 그림3의 回路에서 케이스캐퍼시턴스와 直列인덕턴스는 중주파수에서의 同調에는 無視되어 Q에 대한 다음 近似式이 求해진다.

$$Q \approx \omega C_j R_p (1 + \omega^2 C_j^2 R_p R_s) \quad (15)$$

式(16)을 ω 에 대해 微分하면 最大 Q때의 角周

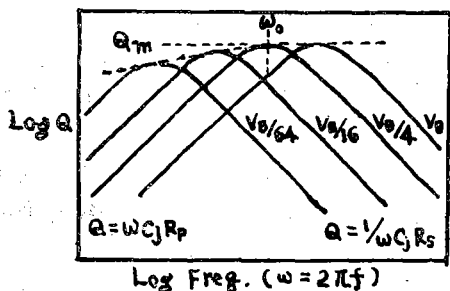


그림 5. 降服電壓 V_B 까지의 여러 逆바이어스 電壓에 對한 角周波數 對 Q의 定性的인 變化

波數, ω_0 와 이 때의 최대 Q, Q_{max} 를 구할 수 있다.

$$\omega_0 \approx 1/C_j (R_p R_s)^{1/2} \quad (17)$$

$$Q_{max} \approx (R_p/4R_s)^{1/2} \quad (18)$$

그림 5는 Q, 周波數 및 바이어스 電壓사이의 關係를 나타내는 그래프이다.

주어진 바이어스 電壓에 대해서 Q는 낮은 주파수에서는 周波數와 接合캐퍼시턴스에 比例하며 높은 주파수에서는 이들에 逆比例한다. 낮은 周波數에서의 Q는 漏泄抵抗, 즉 並列抵抗 R_p 에 依해 調節된다. 반면 높은 周波數에서는 直列抵抗 R_s 가 支配的이다. 表面狀態技術의 發達로 이 最大値들이 1MHz 以下에서도 잘 일어날 수 있게 되었으며 오늘날 力點을 들 바는 R_s 의 調節과 이를 減少시키는 일이다. (-)傾斜 범위에서는 두가지 理由 때문에 바이어스 電壓에 따라 Q가 改善된다. 첫째 C_j 는 空乏層이 넓어짐에 따라 減少하며 둘째로 R_s 도 같은 이유로 減少한다. 그림4는 이 效果를 圖示하고 있다. W가 電壓에 따라 增加하고 캐퍼시턴스가 減少함에 따라 γ 型領域의 두께는 減少하며 그로 말미암아 素體直列抵抗을 減少시킨다. Q의 가장 큰 값은 降服電壓 V_B 에서 바이어스된 때 얻어진다. 또한 歪는 直流바이어스가 交流振幅에 比해 클 때 적어진다. 高調波發生을 위해서는 高周波 Q가 결정적 重要性을 갖는다. 交流電壓 스윙이 클 때 Q와 R_s 는 瞬時的으로 電壓에 따라 변하고 平均 値 혹은 實効値라는 말을 쓴다. Uhler⁽³⁶⁾는 UHF 및 마이크로 웨이브에서의 이들 장치를 특성짓기 위한 패러미터로서 Q가 降服電壓바이어스에서 ①이 되는 周波數를 遮斷周波數 f_c 로서 정의했다. 최근에 발표될 여러 논문들^{(70) (74)}이 UHF 및 마이크로波에서 Q의 理論, 說明, 測定에 대해 다루었다. 同調用으로는 다른 회로요소보다 Q가 훨씬 높은 장치에 관해 더욱 관심을 쏟고 있다. 수천이 되는 Q가 1MHz에서 通用되며 100 MHz에서는 40~60의 値가 適切值이다. 同調回路에 있어서 Q는 바이어스 電壓에 따라 변하며 共振周波數 또한 바이어스 電壓에 따라 변하므로 同調回路의 Q는 複雜한 函數인 것이다. 回路設計者들은 同調周波數에 따른 이와 같은 Q의

변화를 許容해 왔다. R_s 는 素體 比抵抗에 따라 결정되므로 실리콘 장치의 Q 는 外部物質의 導傳度처럼 室溫이상으로 감소한다. 게르마늄에 대해서는 眞性으로 되어 作用이 다르게 된다.

溫度에 對한 캐퍼시턴스

VVC의 캐퍼시턴스는 두 가지 이유로(둘다 물질특성) 溫度에 따라 變化한다. 이 變化量은 接觸電位 V_0 와 誘電常數 K 에 있다. 式(10)으로부터 式(19)가 導出어지며 g 는 比例常數이다. 溫度에 대한 캐퍼시턴스의 全微分은 쉽게 계산된다. 溫度係數表記는 指數 n 의 函數로서 式(20)에 表示했다. 溫度係數는 指數 n 과 바이어스電壓 V 의 값에 따라 달라진다. 그러므로 擴散型裝置는 合金型 또는 高階段 裝置와 달리 補償이 있어야 한다. 式(20)의 右側 第2項의 V 가 클 때 誘電常數項은 係數를 調節하며 반면 V_0 項은 小바이어스인 때 支配項이라는 結論을 나타내고 있다. 회로 설계자는 이들 係數를 이해하고 온도에 따른 變化를 허용하지 않으면 안된다.

$$c = gk^{(m+1)/(m+2)} (V+V_0)^{-1/(m+2)} \quad (19)$$

$$\frac{1}{c} \frac{dc}{dT} = (1-n) \left[\frac{1}{K} \frac{dK}{dT} \right] - n \left[\frac{1}{(V+V_0)} \frac{dV_0}{dT} \right] \quad (20)$$

誘電常數 K 는 溫度係數에 約 100萬分之 35가량 영향을 미친다. 어떤 合金型裝置의 접촉전위는 動作溫度範圍에서 約 $-2mV/^\circ C$ 이다. 이 접촉전위는 階段接合에 대해서조차 복잡한 온도의 함수로 주어지므로 모든 VVC에 대한 一般的인 數值로 간주될 수는 없다.

그 밖의 장치형태에 대해서는 거의 연구가 없어 왔다. 溫度補償에 대한 만족할만한 近似解析을 하자면 實驗에 의한 장치메이타 및 뒷節에서 言及될 溫度補償技術이 있어야 한다.

回路 및 시스템 應用

VVC同調는 때때로 局部發振器同調와 濾波器 또는 프리세렉터同調 이렇게 두가지 部類로 나눌 수 있다. 이 두 部類 모두 共通으로 많은 問題點을 지니고 있다.

이 가운데 主가 되는 것이 溫度補償, 非線形性 및 그에 관련된 相互變調와 混變調積, VVC Q , 높은 周波數(대략 300MHz 이상)에서 일어나는 리드인덕턴스 및 케이스 캐퍼시턴스의 寄生效果들이다.

(1) 溫度 드리프트補償

動作電壓範圍가 결정되면 裝置의 溫度係數는 測定 또는 앞節에서 보인 理論으로부터 구할 수 있다. 그렇지만 실제회로에 있어서는 이 온도 drift문제를 除去하기 위해 補償策이 考案되어 왔다. 많은 사람들에 의해 여러가지 간단한 補償回路가 提示되어 왔는데 그림6에 보인것은 그 가운데 Weldon과 Kopski⁽⁴³⁾에 의한 보상회로이다.

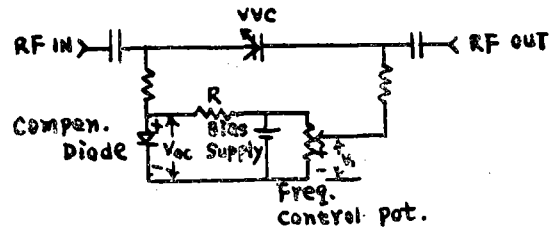


그림6. 캐퍼시턴스의 溫度에 의한 變化를 分枝하기 위해 같은 구조의 다른 다이오드를 사용한 온도보상회로

電壓調節用 포텐쇼미터의 直列로 順바이어스가 結려있다. VVC 兩端에 걸린 電壓은 $V_i - V_{oc}$ 이다. 보상다이오드는 그에 걸리는 電壓 V_{oc} 가 본질적으로 接觸電位 V_0 와 같도록 하여 약간 順바이어스가 되어 있다. 따라서 보상다이오드에 걸리는 電壓은 VVC와 접촉전위의 平衡이 되며 완전히 넓은 溫度範圍에 걸쳐 그值를 트래킹 한다.

(2) 發振器

그림7과 같은 형태의 發振器를 생각해 보자

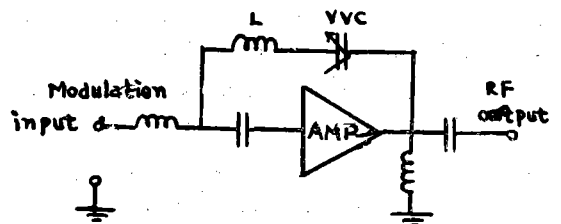


그림7. 대표적인 VCO회로

이것은 300MHz 以下에서 使用되는 回路의 대표 적인 예이다. 式(15)는 VCO의 공진주파수를 표시하고 있다. 일반적인 문제는 f가 주어진 誤差範圍內에서 바이어스 전압의 線形的인 函數로 되는 回路를 設計하는 일이다.

그림 8이 f와 바이어스 전압과의 관계를 나타 내는 일반 曲線이다. tangent 比의 定義는 주파 수 f₂에서의 微分을 주파수 f₁에서의 微分으로 나눈 것이다. 同調用의 大部分에 대해 tangent 比가 0.6보다 크면 直線性이 靚찮은 것이다. 式 (15)와 tangent 比의 정의를 사용하면 r은 다음 과 같이 表記된다.

$$r = \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{n-2/n} \quad (21)$$

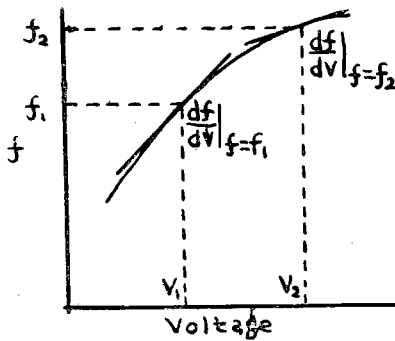


그림 8. tangent 比 r의 정의를 圖示하는 VCO의 電壓 對 周波數 曲線

表 III은 여러 tangent 比와 指數值에 대하여 周波數差(f₂-f₁)을 中心周波數(f₂+f₁) 2으로 나눈 것으로 정의되는 퍼센트同調範圍의 값들을 표시 하고 있다. 表 III을 보면 FM帶域을 包括하는데 要하는 20% 정도 的 適當同調範圍에 대해서 까지 特殊高階段 다이오드만이 電壓 對 周波數의 뛰어난 線形性을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 交流진폭이 直流바이어스에 비해 적으면 線形性은 直流 바이어스의 函數가 아니라는 데 유 의하라. 高階段 다이오드의 경우 n이 定數인 범 위에서 그 동작상태는 더욱 制限을 받는다. 線形的인 f-v特性을 얻는데 사용하는 또 한가지 방법은 同調電壓函數를 본뜨는(shape)방법이다.

原理上으로는 또 다른 非線形要素가 VVC의 非線形性을 보상하는 非線形調節電壓으로 同調 電壓을 轉換시키는 데 使用된다. 그러나 이는 實

表 III

| tangent 比 | n = 1/2 | n = 1/2 | n = 1 | n = 2 |
|-----------|---------|---------|-------|-------|
| 0.9 | 2.1% | 3.4% | 10.4% | ∞ |
| 0.8 | 4.5% | 7.4% | 22.2% | ∞ |
| 0.7 | 7.1% | 11.8% | 35.4% | ∞ |
| 0.6 | 10.4% | 17.0% | 50 % | ∞ |
| 0.5 | 13.7% | 23.7% | 57 % | ∞ |

際에 있어서나 製作하는 데 있어서 지극히 곤란 하다. 이런 類의 線形性을 얻는 方法은 적어도 Roza⁽⁵⁷⁾의 경우에 있어서는 성공적으로 채택된 일이 있었다.

(3) FM 偏移器

VCO는 周波數變調캐리어를 發生시키는 데도 使用될 수 있다. 대역폭 - 相互變調積을 最少로 하기 위해서는 다시 變調시스템의 線形性이 重要問題로 된다. 그림 7에 보인바와 같은 發振器⁽⁷⁵⁾의 解析은 今에 여기서 相互變調積의 크기는 발진기의 最高 分數偏移 Δf'fo 및 指數 n의 函數라는 것을 알 수 있다.

특히 진폭이 같은 두개의 tone이 ω₁과 ω₂로 變調할 때 合成基本帶域은 式(22)와 같이 表示 된다. 相互變調積(intermodulation products)은 直流바이어스電壓의 函數가 아니라는 걸 주의 하라. 이러한 結論을 指數가 變하지 않고 RF周 期의 어느 기간동안에도 順方向 傳導가 일어나 지 않는 V의 범위에 대해서는 명백히 성립한다.

그림 9는 相互變調積의 상대적 크기를 n = 1/2 인 다이오드에 대해 Δf/fo의 函數로서 plot한 것이다.

2次積은 Δf/fo에 比例하며 3次積은 (Δf/fo)²에 比例한다.

$$V_b \approx (1/2) (\sin w_1 t + \sin w_2 t) - (k_1/2) (\Delta f/fo) \times (\cos 2w_1 t + \cos 2w_2 t) + k_1 (\Delta f/fo) \times [\cos(w_1 t) - \cos(w_1 t + w_2 t) - (k_2/4) (\Delta f'fo)^2 (\sin 3w_1 t + \sin 3w_2 t) - (3k_2/4) (\Delta f fo)^2 \{ \sin(w_1 t + 2w_2 t) + \sin(2w_1 t + w_2 t) - \sin(w_1 t - 2w_2 t) - \sin(2w_1 t - w_2 t) \}] + \dots \quad (22)$$

여기서

$$k_1 = \left(\frac{1}{8} - \frac{1}{4n} \right); \quad k_2 = \left(\frac{1}{48} - \frac{1}{8n} \right)$$

$$+ \frac{1}{6n^2})$$

n=2에 대해 多項式常數가 0이 되어 모든 相

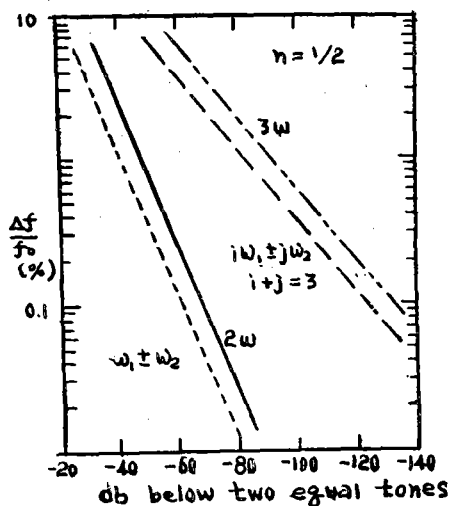


그림9. $\Delta f/f_0$ 의 函數로서 표시한 여러 相互變調積 ($n = \frac{1}{2}$)의 상대기본 대역치

互變調積이 0이 되어 버린다는 사실을 유의하라 이는 偏移器로서 n=2의 高階段 다이오드를 사용해야 된다는 걸 말한다.

(4) 濾波器

VVC를 써서 濾波器나 프리세렉터를 設計하는 데는 아주 흔히 있는 특성문제 외에도 트랙킹 문제가 追加된다. 一般적으로 濾波器는 한 개 이상의 共振部를 갖는다.

Chebyshev 또는 Butterworth 設計에서는 共振器 各雙에 대하여 다른 電壓이 요구된다. 이러한 불필요한 複雜性을 없애기 위해서는 同等要素設計(equal element design)⁽⁶⁶⁾를 채용한다

일반적으로 受信機는 프리세렉터가 同調하고 있는 周波數 fr에 無關한 固定 IF周波數를 갖는다. 따라서 絕對帶域幅 Δf 가 fr의 函數가 되지 않게 하는 회로를 이뤄야 한다. 並列共振回路에 대해 $\Delta f = \frac{2\pi fr^2}{R}$ 이라는 것이 증명 될수 있다.

⁽⁶⁶⁾ 그러나 直列共振回路에 대해서는 $\Delta f = R/2\pi L$ = 일정이다. R은 並列 또는 直列回路에 대한 負荷抵抗이다. 그위에 並列回路의 插入損(db)은 $20 \log Q_u / (Q_u - Q_r)$ 임이 증명된다. 直列회로에 대

해 $Q_L/Q_u = R_s/R =$ 일정인데 반해 並列에 대해서는 $Q_L/Q_u = R_L^2/R_s^2 \omega^2$ 이다.

直列 RLC 回路는 定 Δf 와 定插入損 둘다가 周波數의 函數를 나타내므로 어느 회로 구조로 하느냐가 명백히 요구된다.

그러나 이 利點을 보존하기 위하여 다이오드에 結合된 實効直列抵抗이 본질적으로 周波數의 函數로 되지 않는 結合구조를 고안해 낼 필요가 있다. 一般적으로 誘導結合을 採擇하는데 그 이유는 이 방식이 최대 동조범위가 가능하기 때문이다. 모든 受信機應用에 共通되는 것은 프리세렉터로부터 2次 및 3次 相互變調分布를 最小로 할 필요가 있다는 점이다. 만약 1옥타브 帶域幅 以下에 대해 設計가 可能하다면 2次積은 별문제가 안되며 3次 相互變調 및 混變調積(근본적으로 3次현상)이 아주 문제가 된다. 歪를 적게 하기 위해 공진회로의 L/C比는 작게 취해야 되며 直流靜바이어스 電壓은 높고 負荷를 전 Q는 낮아야 된다.

(5) 마이크로波 應用

마이크로波 周波數(>1GHz)에서 현재 가장 有用한 電子同調要素로는 YIG(Single-Crystal Yttrium-Iron Garnet)球가 있다. YIG는 1GHz 훨씬 이하에서는 實用的이 못되며 動作周波數에 無關하게 同調電力을 要한다. 그러므로 約1GHz 이상까지 VVC를 匹敵할 것이 없고 同調電力이 要求되지 않으므로 同調回路로서 마이크로波 영역까지 實用的이다. 2空洞 VVC 同調濾波器는 2.5GHz에서 3.5GHz의 周波數帶까지 包括할 수 있다고 보고되어 왔다⁽⁷⁶⁾ 插入損은 평균 2db이며 設計上 帶域幅은 대략 65MHz이다.

분포정수가 고려되는 마이크로波 영역에서 회로를 實現化하기 위해 아주 完전한 設計技術을 本文에 展開시켰다.

다이오드를 有用化하기 위한 技術이 다이오드 自己共振以上, 以下 둘다에 대해 논의된다. 해석한 두 예는 終端負荷共振器와 中心負荷共振器이다. 同軸共振器에 대한 同調範圍는 式(23)에서의 같이 표시될 수 있음이 증명 되었다.

同調範圍低下係數는 $q' = F(\lambda)$ 이다. 여기서 λ 는 공진기의 電氣的 길이이다. 마찬가지로 $Q_u =$

Mfc/f임이 증명되었다. [(여기서 $M=F_1(\lambda)$] 函數 M과 q'는 계산 또는 그래프로 구해질 수 있는 것으로서 마이크로波 VVC同調濾波器的 設計를 아주 簡略化해 준다.

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{1}{q'} \left(\frac{C_2}{C_1} \right)^{1/2} \quad (23)$$

大部分의 同調回路가 並列共振를 使用하고 있다. 그렇지만 直列共振도 마찬가지로 유용하게 사용된다. 사실 $\frac{1}{4} f_{SR}$ 이상쯤 되는 (여기서 $f_{SR} = \frac{1}{2\pi(LsCj)^{1/2}}$: 그림3) 주파수 범위에서는 直列共振回路가 더 有用하게 使用된다. $f = \frac{1}{4} f_{SR}$ 에서 並列共振에 實効Q가 約10% 低下 됨이 實證되었으며 $f > \frac{1}{4} f_{SR}$ 에서 이 低下는 훨씬 심하게 된다. 반대로 直列共振回路에서는 Is가 全 直列共振인 덕턴스에 흡수될 수 있으므로 전연 Q低下를 일으키지 않는다. 다 아는 바와 같이 插入損을 最小로 하기위해 가능한한 回路素子들의 無負荷Q를 높게 할것이 要望된다. VVC의 基本 高周波限界는 다음 近似關係로 記述된다.

$$\frac{f_{max} - f_{min}}{\Delta f} \approx \frac{1}{2} Q \left[\frac{\Delta C_v}{C_v} \right] (1 - 10^{-L' \cdot 20}) \quad (24)$$

$f_{max} - f_{min}$ 은 同調範圍, Δf 는 平均 3db 帶域幅, C_v 는 可變캐퍼시턴스의 平均値, ΔC_v 는 C_v 의 全變化量, L' 는 평균插入損(db)이다. 한 예로서 650~1350MHz의 同調範圍(插入損 2db, 1000MHz에서 $Q=100$ 인 VVC)에 대해 結果 3db 대역 폭은 約 43MHz이다. 더욱 選擇성이 좋은 회로가 요구되는 경우라면 높은 長點指數(figure of merit)를 가진 다이오드가 採擇되어야 한다. 이 長點指數는 다음과 같이 定義된다.

$$\text{figure of merit} = \frac{Q \Delta C_v}{2C_v} \quad (25)$$

리드인덕턴스가 마이크로波에 대해서는 중요한 영향을 미치므로 리드는 특수하게 설계되어 거의 除去되다시피 되어야 한다. 마이크로波 해석을 하자면 積載와 導線을 除去하고 裸線이나 가능한한 導波管을 使用하는 것을 위시해서 複合技術(hybrid technology)에 의해 VVC 半導體칩을 相互連結해야 한다.

Houlding⁽⁷³⁾과 Harrison⁽⁷⁴⁾은 그러한 技術이 UHF 또는 마이크로波 주파수에서 VVC를 더욱 복성화할 필요가 있음을 보였다. Vander Haagen⁽⁹⁵⁾은 VHF에서 螺旋型的 共振器에 同調되는 VVC를 使用하였으며 그 技術을 마이크로波 스펙트럼에까지 擴張된다는 것을 주장하고 있다.

Herbert와 Chernega⁽⁹⁶⁾는 巧妙한 方法으로 VVC를 쓴 트랜지스터 發振器를 1~2GHz에서 同調시켰다. 그들은 漂遊容量에 의해 초래되는 캐퍼시턴스에서의 感度損失을 發見했으며 VVC를 可變인덕터처럼 보이도록 짧은 傳送線($< \frac{1}{4}$ 波長)을 썼다.

실제회로에서 1오타크의 同調가 이뤄졌다.

展 望

최근 5년동안에 장래의 固體同調에 관련된 여러 技術적 사건들이 일어 났었다. 다음과 같은 型의 장치들에 대해 요약해서 記述한다.

- (1) 高階段 VVC
- (2) 光感度 MOS 캐퍼시터
- (3) p-n-p 다이오드 구조
- (4) Gunn 發振器
- (5) IMPATT 發振器
- (6) 同調된 能動濾波器
- (7) GaAs VVC

1953년에 McMahan과 Straube⁽⁴⁰⁾는 $\frac{1}{2}$ 이상 的 指數를 가진 同調다이오드의 可能性에 대해 言及하였다. 高階段이라는 말이 붙는 장치가 바로 그 경우이다.

그후로 여러사람들이 이 高階段장치의 製造理論과 工程을 開發하였다.

Spector⁽⁷⁸⁾는 構造上의 技術을 利用하여 特殊 다이오드 電壓에서 장치면적이 돌연히 變하는 感도가 좋은 裝置를 提案하였다. Frozier⁽⁷⁹⁾는 그 뒤에 擴散技術을 써서 過敏裝置(hypersensitive device)를 만들어 내었다. Shimizu와 Nishizawa⁽⁵¹⁾ 및 Sukegawa그룹⁽⁵²⁾에 의해 主要進展狀況이 論文으로 보고되었다. 그들은 $n=7$ 정도의 높은 指數를 갖고 合金, 擴散技術에 의해 100이상의 캐퍼시턴스비를 갖는 장치를 만들

어 내었다. Sukegawa 그룹⁽⁵³⁾은 또한 이들 장치에 대한 設計理論을 발전 시켰다. Norris와 Heidenreich⁽⁶⁰⁾는 에피택셜기술에 의해 指數 $n=2$ 인 裝置를 만들어 내었다. 回路의 見地에서 指數가 2인 것이 利點이 있다. DeCola⁽⁶¹⁾는 可變指數를 갖는 同調다이오드의 回路作用을 解析 하였으며 指數 $n=2$ 는 混變調積이 없고 受信機의 -tracking 특성이 印加電壓과 周波數偏移사이의 線形的 關係때문에 改善된다고 설명하고 있다.

더욱이 그는 서로 逆方向으로 結合되어 있으며 $n=1$ 인 두개의 다이오드가 理想的인 線形空氣誘電可變캐퍼시터처럼 作用한다고 말하고 있다. 光感캐퍼시터는 MOS構造의 特性을 熱心히 研究하는 중에 얻은 副產物이다. Grove그룹⁽⁸⁰⁾은 定常光源으로 그러한 구조의 캐퍼시터를 調節할 수 있으며 適當한 電壓으로 바이어스된 때만이 캐퍼시턴스가 光度의 函數로 나타난다는 結論證하였다. 그림 10은 이런 형태의 裝置의 作用을 나타낸다. 바이어스 電壓에 無關한 캐퍼시턴스의 重要性은 장치의 特性이 線形的이고 相互變調나 混變調積이 일어나지 않는다는 結論에 있다. 게다가 그것은 세번째 端子가 光源인 3端子可變캐퍼시터이다. 1960년에 Gibbons와 Pearson⁽⁶¹⁾은 p-n-p 다이오드를 報告했는데 이는 本質적으로 모노리틱 構造에 있어서 서로 逆方向으로 連結된 두개의 다이오드의 等價이다. 그

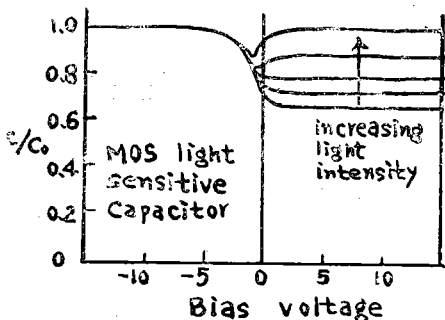


그림 10. 外部調節光源을 가진 MOS캐퍼시터定性的인 作用

들은 이 構造의 主要한 利點이 高調波를 發生하는데 있음을 깨달았지만 또한 光이 캐퍼시턴스에 影響을 끼친다는 結論 實證하였다. 그후 Early⁽⁶²⁾는 이런 형태의 장치에 대해 追加的인 知識을 提供하였다.

Gunn效果는 아마 최근 5년동안의 가장 劃期的인 半導體開發로 看做된다.

1963년에 Gunn^{(83), (84)}에 의해 보고된 이 效果(effect)는 直流 바이어스된 2端子裝置에서 마이크로波 에너지의 素體發生을 말한다. 이러한 半導體 發振器들의 理論 및 製造에 關해서는 꾸준한 進展이 있어 왔다. 發振周波數는 다소 바이어스 電壓에 敏感하며 이는 高安定發振器에 대해서는 상당히 문제되는 特性으로 看做되고 있다. 다른 한편으로 VCO에서는 유용한 特性이 될지도 모른다. Shoji^{(85), (86)}와 그밖의 사람들^{(87), (88)}은 여러가지 구조에서의 同調效果를 實證하였다. 이들 대부분의 發振器들은 電荷領域에서의 走行時間(transit time)이 調節퍼러미터이므로 周波數가 바이어스 電壓에 逆比例한다. 1958년에 Bell研究所의 Read⁽⁸⁹⁾는 固體다이오드 發振器에 대한 理論을 發表했다. 1965년에 Johnston, De Loach와 Cohen⁽⁹⁰⁾은 最初의 實驗用 原型을 만들어 내었다. Gunn 效果를 가지고서처럼 수년동안에 많은 研究와 進歩가 成功적으로 이뤄졌다. Misawa⁽⁹¹⁾는 理論을 더욱 發展시키는 데 있어서 重要한 人物이 되어 왔다. 이들 2端子 IMPATT (Impact Avalanche Transit Time)發振器는 Gilden과 Hines⁽⁹²⁾가 보고한 바와 같이 또한 電壓으로 同調시킬 수 있다. 1964년에 Linvill⁽⁹³⁾은 "RC能動濾波器"라는 주요한 論文을 발표하였다. 그는 小型化하는 電子工學의 傾向으로 캐퍼시턴스 및 권선형 인덕턴스로 되어있는 filter의 크기와 무게가 작아야 된다는 結論을 지적하였다.

RC濾波器는 항상 回路에서의 插入損의 短點과 Q에 制限値를 지너왔다.

Linvill은 증폭장치가 受動RC回路에서 잃은 에너지를 再供給할 수 있는 方法에 대해 설명하였다. 그 이후로 能動 filter와 同調回路에 대한 상당한 研究가 행하여 졌으며 超小型電子 回路의 出現으로 需要와 電壓의 利點을 증가 시켰다. VVC는 RC能動濾波器에서 明白한 役割을 갖고 있다. 이들 濾波器는 확실히 音聲周波數에서 利點이 있으며 조만간 RF와 VHF帶 周波數에서

도 有用하게 될 것이다. 超小型電子 同調回路의 概略에 대해서는 1964년에 Newell⁽⁹⁴⁾이 발표한 바 있다.

끝으로 第3의 物質 GaAs에 대해 몇마디 이야기 해야겠다. 이 물질은 현재의 VVC 應用에 별로 중요성을 띠어오지 않았지만 UHF나 마이크로波 주파수에는 중요한 물질로 되고 있다.

이 物質은 高移動度, 따라서 直列抵抗이 작다

는데 有一한 利點이 있다.

마이크로波 및 mm周波數에서 더욱 높은 Q가 얻어져 왔다. GaAs의 用途에 대한 一連의 記事는 1967年 11月 13일에 "Electronics"誌에 발표된바 있는데 이 가운데 Uhler⁽⁹⁷⁾에 의한 記事는 同調 및 高調波發生에 대한 GaAs의 長點과 缺點을 간단히 要約해 주고 있다.

REFERENCES

- (1) W. Schottky and W. Deutschmann, "Zum Mechanismus der Richtwirkung in Kupferoxydulgleichrichtern," Phys. Z., vol. 30, pp. 839-846, Nov. 1929.
- (2) H. K. Henisch, Rectifying Semiconductor Contacts, London: Oxford University Press, 1957, pp. 150-167 and 214-218.
- (3) J. Joffe, "Schottky's theories of dry solid rectifiers," Elec. Commun., vol 22, pp. 217-225, January 1945.
- (4) W. Schottky, "Zur Halbleitertheorie der Sperrschicht und Spitzengleichrichter," Z. Phys., vol. 113, pp. 367-414, July 1939.
- (5) _____, "Vereinfachte und erweiterte Theorie der randschicht Gleichrichter" Z. Phys., vol. 118, pp. 539-592, February 1942.
- (6) N. F. Mott, "The theory of crystal rectifiers," Proc. Roy. Soc. (London), vol. 171A, pp. 27-38, May 1939.
- (7) H. Y. Fan, "Contacts bettween metals and between a metal and a semiconductor," Phys., Rev., vol. 62, pp. 388-394, October 1942.
- (8) S. Benzer, "Excess defect Ge contacts," Phys. Rev., vol. 72, pp. 1267-1268, December 1947.
- (9) M. Becker and H. Y. Fan, "Photovoltaic effect of p-n barriers produced in germanium by alpha and deuteron bombardment," Phy. Rev., vol. 75, p. 1631. October 1949.
- (10) H. Y. Fan, "Theory of photovoltaic effect of p-n barrier in a semiconductor," Phys. Rev., vol. 75, p. 1931, October 1949.
- (11) W. Shockley, G.L. Pearson, and M. Sparks, "Current flow across n-p junctions," Phys. Rev., vol. 75, p. 180, January 1949.
- (12) F.S. Goucher, G. L. Parson, M. Sparks, G. K. Teal, and W. Shockley, "Theory and experiment for a germanium p-n junction," Phys. Rev., vol. 81, pp. 637-638, February 1951.
- (13) H. C. Torrey and C. A. Whitmer, Crystal Rectifiers, Nes York: McGraw-Hill, 1948, pp. 72-76.
- (14) J. H. Scaff and R. S. Ohl, "Development of silicon crystal rectifiers for microwave radar receivers, "Bell Sys. J., vol. 26, pp. 1-30, January 1947.

- (15) W. Shockley, "The theory of p-n junctions in semiconductors," Bell Sys. Tech. J., vol. 28, pp. 435-450, July 1949.
- (16) G. L. Pearson, "Probing the space-charge layer in a p-n junction," Phys. Rev., vol. 85, pp. 1055-1057, March 1952.
- (17) J.S. Saby and W. C. Dunlap, "Impurity diffusion and space charge layers in fuzed-impurity p-n junctions," Phys. Rev., vol. 90, pp. 630-632, May 1953.
- (18) H. Kroemer, "The apparent contract potential of a pseudo-abrupt p-n junction," RCA Rev., vol. 17, pp. 515-521, December 1956.
- (19) L. J. Giacoletto, "Junction capacitance and related characteristics using graded impurity semiconductors" IRE Trans. Electron Devies, vol. ED-4, pp. 207-215, July 1957.
- (20) C. J. Spector, "A design theory for the high-frequency p-n junction variable capacitor," IRE Trans. Electron Devices, vol. ED-6. pp. 347-351, June 1959.
- (21) R. L. Pritchard, "Transition capacitance of p-n junctions," Semiconductor Prod., vol. 2, pp. 31-35, August 1959.
- (22) W. MacDonald, D. Schultz, and J. R. Madigan, "Variable capacitance diffused junction diodes," Semiconductor Prod., vol. 2, pp. 29-34, November 1959.
- (23) H. Lawrence and R.M. Warner, Jr., "Diffused junction depletion layer calculations," Bell Sys. Tech. J., vol. 39, pp. 389-403, March 1960.
- (24) S. P. Morgan and F. M. Smits, "Potential distribution and capacitance of a graded p-n junction," Bell Sys. Tech. J., vol. 39, pp. 1573-1502, November 1960.
- (25) J. L. Moll, Physics of Semiconductors. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 124-140.
- (26) Y. F. Chang, "Capacitance of p-n junctions: space-charge capacitance," J. Appl. Phys., vol. 37, pp. 2337-2342, May 1966.
- (27) _____, "The capacitance of p-n junctions." Solid-State Electronics, vol. 10, pp. 281-287, April 1967.
- (28) H. K. Gummel and D. L. Scharfetter, "Depletion-layer capacitance of p+n step junctions," J. Appl. Phys., vol. 38, pp. 2148-2153, April 1967.
- (29) R. N. Hall and W. C. Dunlap, "P-N junctions prepared by impurity diffusion," Phys. Rev., vol. 80, pp. 467-468, November 1950.
- (30) G. K. Teal, M. Sparks, and E. Buehler, "Growth of germanium single crystals containng p-n junction," Phys. Rev., vol. 81, p.637, February 1951.
- (31) R. N. Hall, "Power rectifiers and transistors," Proc. IRE, vol. 40, pp. 1512-1518, November 1952.
- (32) J. H. Scaff, H. C. Theuerer, and E. E. Schumacher, "P-type and n-type silicon and the formation of the photovoltaic barrier in silicon ingots," Metals Trans., vol. 185, pp. 383-388, June 1949.
- (33) W. G. Pfann and J. H. Scaff, "Microstructures of silicon ingots," Metals Trans., vol. 185, pp. 389-392, June 1949.
- (34) L. J. Giacoletto and J. O'Connell, "A variable-capacitance germanium junction diode for UHF," RCA Rev., vol. 17, pp. 68-85, Mrch 1956.
- (35) D. E. Sawyer, "Surface dependent losses in variable reactance diodes," J. App.

Phys., vol. 30, pp. 1689-1691, November 1959.

(36) A. Uhler, Jr., "The potential of semiconductor diodes in high frequency communications," Proc. IRE, vol. 46, pp. 1099-1115, June 1958.

(37) J. H. Forster and R. M. Ryder, "Diodes can do almost anything," Bell Labs Rec., vol. 39, pp. 2-9, January 1961.

(38) G. F. Straube, "A voltage variable capacitor," Electronics Industries, vol. 30, pp. 69-73, May 1958; pp. 77-80, July 1958.

(39) R. P. Turner, "Using the Varicap," Radio-Electronics, vol. 29, pp. 57-59, May 1958.

(40) M. E. McMahon and G. F. Straube, "Voltage-sensitive semiconductor capacitor," IRE WESCON Conv. Rec., pt. 3, pp. 72-82, August 1958.

(41) J. G. Hammerslag, "Taking advantage of the voltage sensitivity of the silicon capacitor," Electrical Mfg., vol. 64, P. 172, September 1959.

(42) M. E. McMahon and L. S. Chase, "Voltage-variable capacitors; state-of-the-art," Electronics Industries, vol. 13, pp. 90-94, December 1959.

(43) J. Registrar, "Silicon junction diodes as variable capacitors," Electronic Engrg., vol. 33, pp. 783-787, December 1961.

(44) C. H. Taylor, "Semiconductor junction capacitors," Wireless World, vol. 68, pp. 193-195, April, 1962.

(45) K. H. J. Adams and A. E. Stearn, "A variable semiconductor capacitor," Electronic Engrg., vol. 34, pp. 733-735, November 1962.

(46) L. A. Weldon and R. L. Kopski, "Boost for electronic tuning: Parts 1 and 2," Electronics, vol. 37, pp. 49-53, April 6, 1964; pp. 61-63, April 20, 1964.

(47) G. Schaffner, "Voltage variable capacitors for electronic tuning," Electro-Technology, vol. 73, pp. 62-65, August 1966.

(48) G. L. Schnable, "Development of large-area 200-volt planar voltage-variable capacitance diodes," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-13, pp. 893-903, December 1966.

(49) K. E. Mortenson, "Alloyed, thin-base diode capacitors for parametric amplification," J. Appl. Phys., vol. 30, pp. 1542-1548, October 1959.

(50) C. T. Sah, "Effects of electrons and holes on the transition layer characteristics of linear graded p-n junctions," Proc. IRE, vol. 49, pp. 603-618, March 1961.

(51) A. Shimizu and J. Nishizawa, "Alloy-diffused variable capacitance diode with large figure-of-merit," IRE Trans. Electron Devices, vol. EC-8, pp. 370-377, September 1961.

(52) T. Sukegawa, K. Fujikawa, and J. Nishizawa, "Silicon alloy diffused variable capacitance diodes," Solid-State Electronics, vol. 6, pp. 1-24, January 1963.

(53) T. Sukegawa, T. Sakurai, and J. Nishizawa, "A design method for variable-capacitance diodes with an m-th power characteristic for a wide voltage range," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-13, pp. 988-992, December 1966.

(54) G. J. Lohowy, "Integrated precision tuning system," Final Rept., Contract DA-36-036-SC-88903 (DDC Rept. AD620907), April 1965.

- (55) L. Fine, "Programmable HF receivers," Signal Magazine, vol. 22, pp. 22-23, November 1967.
- (56) S. Hecht and G. Kannischak, "Preferred circuit techniques for varactor-tuned filters," Tech. Rept. RADC-TR-66-703 (DDC Rept. AD803504), January 1967.
- (57) J. E. Roza, "Voltage-variable capacitor tuning of radio frequency amplifiers," presented at the 1967 WESCON.
- (58) E. A. Janning, "Application of electronic tuning to tactical communications equipments," presented at the 1967 WESCON.
- (59) G. Schaffner, "Designing around the tuning diode inductance," presented at the 1967 WESCON.
- (60) P. M. Norris and P. Heidenreich, "Hyperabrupt tuning diode theory and application to AM radio," IEEE Trans. Broadcast and Television Receivers, vol. BTR-13, pp. 87-91, July 1967. Also presented at the 1967 WESCON.
- (61) R. DeCola, "Varactor Tuning applied to AM-FM receivers," IEEE Trans. Broadcast and Television Receivers, vol. BTR-13, pp. 82-86, July 1967. Also presented at the 1967 WESCON.
- (62) A. B. Phillips, Transistor Engineering. New York: McGraw-Hill, 1952, p. 96.
- (63) J. Lindmayer and C. Y. Wrigley, Fundamentals of Semiconductor Devices. New York: D. Van Nostrand, 1965, p. 19.
- (64) W. K. H. Panofsky and M. Phillips, Classical Electricity and Magnetism. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1956, p. 27.
- (65) P. Penfield, Jr., and R. P. Rafuse, Varactor Application. Cambridge, Mass.: M. I. T. Press, 1962, pp. 71, 595-602.
- (66) K. G. McKay, "Avalanche breakdown in silicon," Phys. Rev., vol. 94, pp. 877-884, May 1954.
- (67) D. P. Kennedy and R. R. O'Brien, "Avalanche breakdown calculations for a planar p-n junction," IBM J. Research and Develop., vol. 10, pp. 213-219, May 1966.
- (68) C. T. Sah, R. N. Noyce, and W. Shockley, "Carrier generation and recombination in p-n junctions and p-n junction characteristics," Proc. IRE, vol. 45, pp. 1228-1243, September 1957.
- (69) E. S. Schlegel, "A bibliography of metal-insulator-semiconductor studies," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-14, pp. 728-749, November 1967.
- (70) P. Penfield, Jr., "Maximum cutoff frequency of varactor diodes," Proc. IEEE (Correspondence), vol. 53, pp. 422-423, April 1965.
- (71) G. D. Vendelin, "Dependence of varactor cutoff frequency on extrinsic series resistance and bias voltage," Proc. IEEE (Letters), vol. 54, pp. 54-55, January 1966.
- (72) A. I. Grayzel, "The cutoff frequency of a varactor diode with variable series resistance," Proc. IEEE (Letters), vol. 54, p. 875, June 1966.
- (73) N. Houlding, "Measurement of varactor quality," Microwave J., vol. 3, pp. 40-45, January 1960.
- (74) R. I. Harrison, "Parametric diode Q measurements," Microwave J., vol. 3, pp.

43-46, May 1960.

(75) E. Shatz, Internal Memo., TRW Systems Group (to be published). (76) R. J. Fjerstad, "Varactor tuned filters at microwave frequencies," Tech Memo., Contract DA 23-043 AMC-00379 (E) (DDC Rept. AD 629631), December 1965.

(77) S. Cohn, "Electronic tuning of filters-basic limitation," Microwave J., vol. 5, pp. 17-18, November 1962.

(78) C. J. Spector, "Electronically variable capacitors with improved voltage sensitivity," 14th Interim Techn. Rept., Contract DA-36-039-SC-64618, October 1958.

(79) H. D. Frazier, "Hypersensitive voltage variable capacitor," Semiconductor Prod., vol. 3, pp. 56-59, March 1960.

(80) A. S. Grove, B. E. Deal, E. H. Snow, and C. T. Sah, "Investigation of thermally oxidized silicon surfaces using metal-oxide-semiconductor structures," Solid-State Electronics, vol. 8, pp. 145-163, February 1965.

(81) J. F. Gibbons and G. L. Pearson, "P-N-P variable capacitance diodes," Proc. IRE (Correspondence), vol. 48, pp. 253-255, February 1960.

(82) J. M. Early, "P-N-P variable capacitance diode theory," Proc. IRE (Correspondence), vol. 48, pp. 1905-1906, November 1960.

(83) J. B. Gunn, "Microwave oscillations of current in III-V semiconductors," Solid-State Commun., vol. 1, pp. 89-91, September 1963.

(84) _____, "Instabilities of current in III-V semiconductors," IBM J. Research and Develop., vol. 8, pp. 141-159, April 1964.

(85) M. Shoji, "A voltage tunable Gunn-effect oscillator," Proc. IEEE (Letters), vol. 55, pp. 130-131, January 1967.

(86) _____, "Functional bulk semiconductor oscillators," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-14, pp. 535-546, September 1967.

(87) G. S. Hobson, "Some properties of Gunn-effect oscillations in a biconical cavity," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-14, pp. 526-531, September 1967.

(88) A. Nordbotten, "Gunn oscillator with one-electrode split," IEEE Trans. Electron Devices (Correspondence), vol. ED-14, p. 608, September 1967.

(89) W. T. Read, "A proposed high-frequency negative resistance diode," Bell Sys. Tech. J., vol. 37, pp. 401-446, March 1958.

(90) R. L. Johnston, B. C. De Loach, and B. G. Cohen, "A silicon diode microwave oscillator," Bell Sys. Tech. J., vol. 44, pp. 369-372, February 1965.

(91) T. Misawa, "Negative resistance in p-n junctions under avalanche breakdown conditions," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-13, pp. 137-151, January 1966.

(92) M. Gilden and M. E. Hines, "Electronic tuning effects in the Read microwave avalanche diode," IEEE Trans. Electron Devices, vol. ED-13 pp. 169-175, January 1966.

(93) J. G. Linvill, "RC active filter," Proc. IRE, vol. 42, pp. 555-564 March 1954.

(94) W. E. Newell, "Tuned integrated circuits-a state-of-the-art survey," Proc. IEEE, vol. 52, pp. 1603-1603, December 1964.

(95) G. A. Vander Haggen, "The electrical tuning of helical resonators," Microwave J., vol. 10, pp. 84-90, August 1967.

(93) C. N. Herbert and J. Chernega, "Broadband varactor tuning of transistor oscillators," Microwaves, vol. 6, pp. 23-32, March 1967.

(97) A. Uhlir, Jr., "Off to a goodstart," Electronics, vol. 40, pp. 118-119, November 13, 1967.

From Proceedings of the IEEE, vol. 56, No. 5, May 1968.

投 稿 規 定

- (1) 報文 投稿는 會員에 限함을 原則으로 한다.
- (2) 報文은 論文, 技術解說, 施設紹介 및 報告로서 構成한다.
- (3) 論文은 原則的으로 解析의인 것과 새로운 設計 또는 製作資料로서 參考가 될 수 있는 것으로서 內外雜誌에 發表되지 않은 것을 原則으로 한다.
- (4) 技術解說, 施設紹介는 會員의 要望에 따라 編輯擔當理事가 會員에게 이를 委屬한다.
- (5) 報告는 專門分科委員會의 調査報告, 學會活動의 狀況報告, 視察 또는 出張報告, 製作 또는 實驗報告等으로 區分한다.
- (6) 原稿採擇은 編輯委員會에서 한다.
- (7) 報文은 200字 原稿紙에 記入하되 그림, 表를 包含하여 可及의 60面以內를 基準으로 한다. 但, 論文에 限해서는 600字 以內의 國文 要約과 500語 以內의 英文 抄錄(題目, 著者名, 所屬機關 包含)을 붙여야 하고 그림은 寫眞版으로 作成할 수 있게 白紙에 黑字로 正書된 것으로서 이것은 原稿紙 1面에 該當한다.
- (8) 報文은 國文(漢文 包含)으로 作成한다.
- (9) 論文 筆者는 寫眞 1枚와 略歷을 論文提出時에 함께 提出하여야 한다.
- (10) 參考文獻은 다음과 같은 順序로 반드시 本文 後尾에 附記하여야 한다.
 - (가) 論文誌: 著者名, 題目, 雜誌名, 卷, 頁, 月, 年度
 - (나) 單行本: 著者名, 引出頁, 出版社名, 所在地, 年度

原 稿 募 集

第5卷 第3號의 原稿를 다음과 같이 募集하오니 會員諸位께서는 많이 投稿하여 주시기 바랍니다.

記

- (1) 內容: 論文, 技術解說, 各種 報告, 施設紹介, 製品紹介, 短論, 新文獻紹介, 技術相談
- (2) 200字 原稿紙를 使用하고 頁數에 制限없으나 本會投稿規定에 따를것
- (3) 期日: 1968年 9月30日限
- (4) 送付處: 서울特別市 鍾路區 新門路 1街 24高麗빌딩 506號室 大韓電子工學會(電話 75-5979)
- (5) 會誌에 關한 問議處:
 - (가) 韓國科學技術研究所 電子裝置研究室 鄭萬永·金英雄(電話 93-5451~54)
 - (나) 延世大學校 理工大 電氣工學科 楊仁應(教授), 金鳳烈(助教授)(電話 33-0131~9)