

2005年度秋期実用マイクロ波講座

無線機設計におけるRF技術のすべて

2005年 9月～12月

松下電器産業(株) 上野 伴希(工学博士)

研修アジェンダ

1. システム設計概要
2. 低雑音アンプ(LNA)その1
3. 低雑音アンプ(LNA)その2
4. ミクサ
5. ローカル発振器
6. 変復調その1
7. 変復調その2
8. パワーアンプ(PA)
9. その他の回路
10. ダイレクトコンバージョンRX / TX

8 . パワーアンプ (PA)

2005年 12月14日(水)

- 1 . 整合回路設計
- 2 . A級 / B級動作
- 3 . D , E , F級動作
- 4 . AB級リニアアンプ
- 5 . ACPR
- 6 . プッシュプル回路
- 7 . パワーコントロール回路
- 8 . 電力合成
- 9 . 線形補償PA

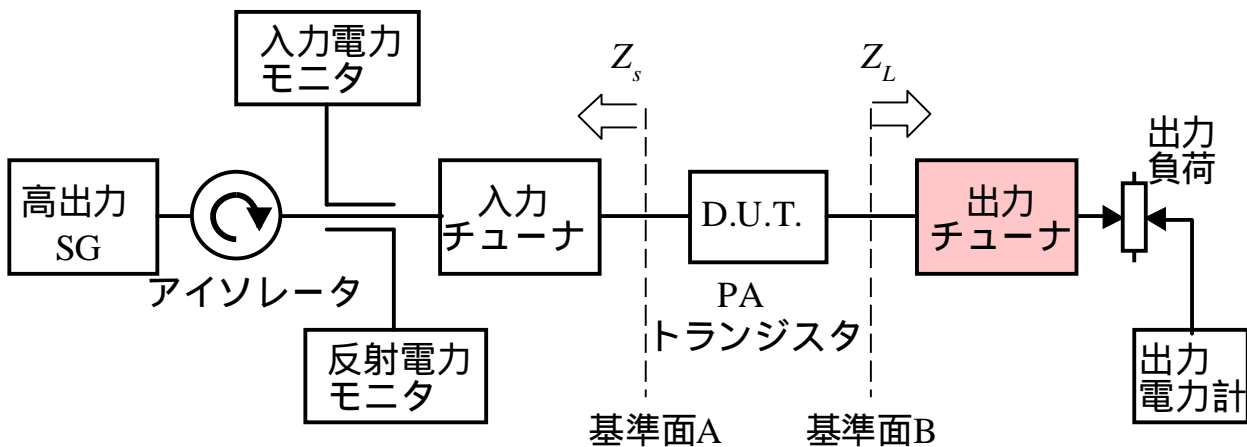
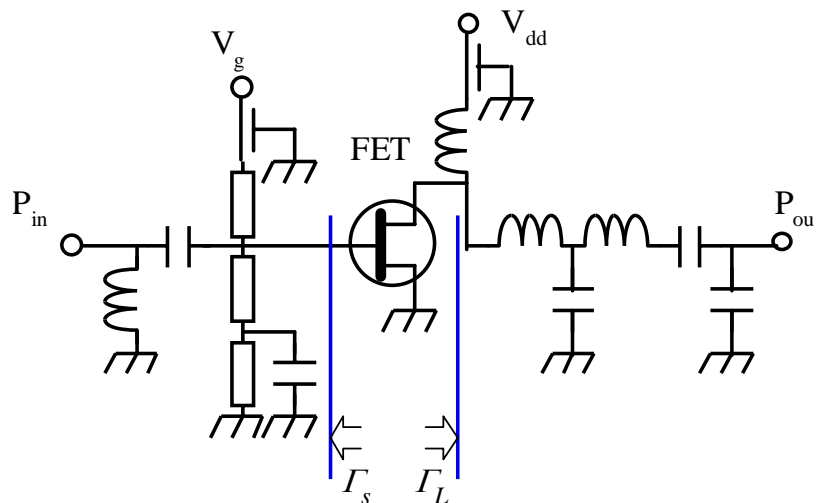
整合回路設計

ロードプル測定

設計の基本

入力 Γ_s はインピーダンス整合(小信号)

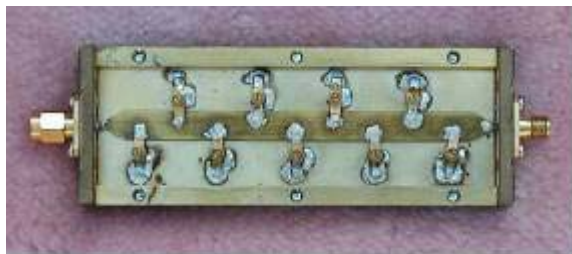
出力 Γ_L は測定で決定



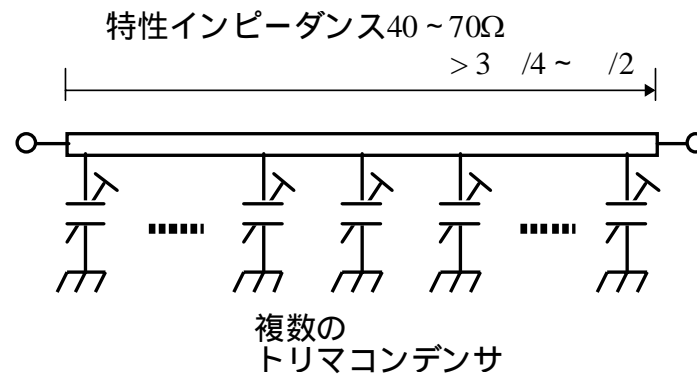
ロードプル測定セットアップ

整合回路設計

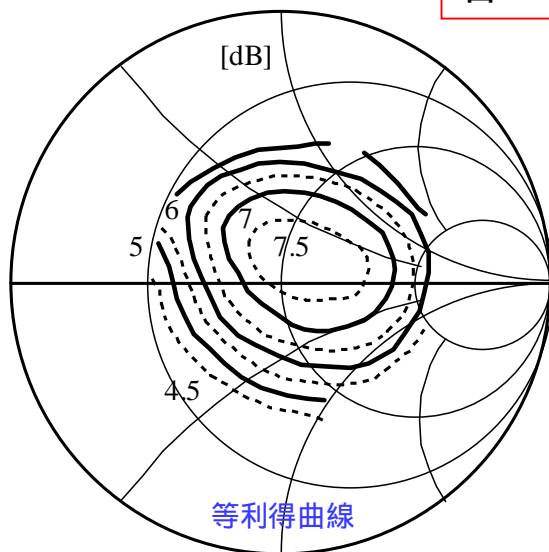
ロードプル線図



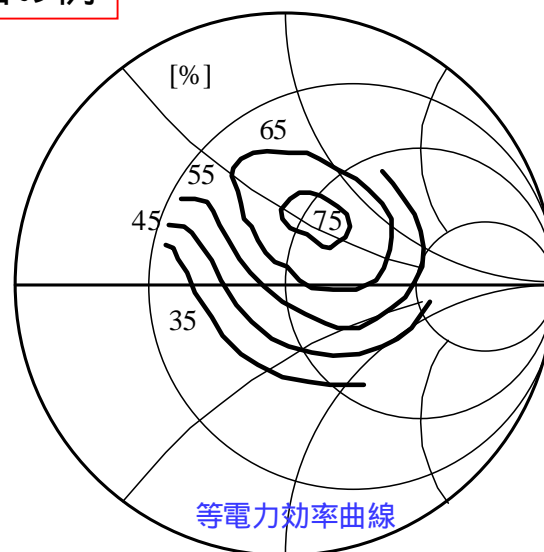
トリマチューナ



ロードプル線図の例

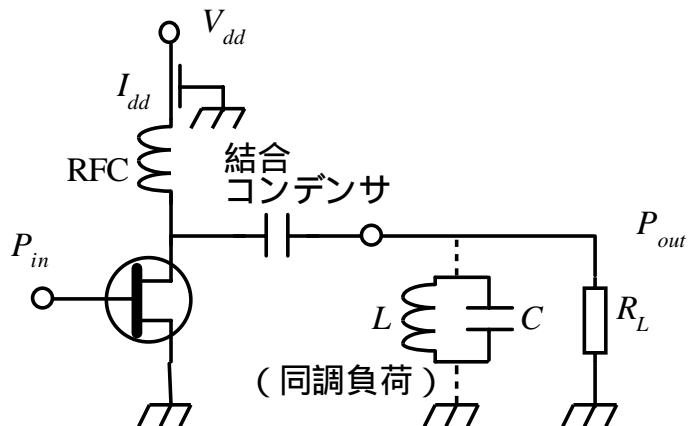


MRF873
 $V_{ce} = 12.5V$
 $P_{in} = 2.4W$
870MHz
 3Ω
正規化

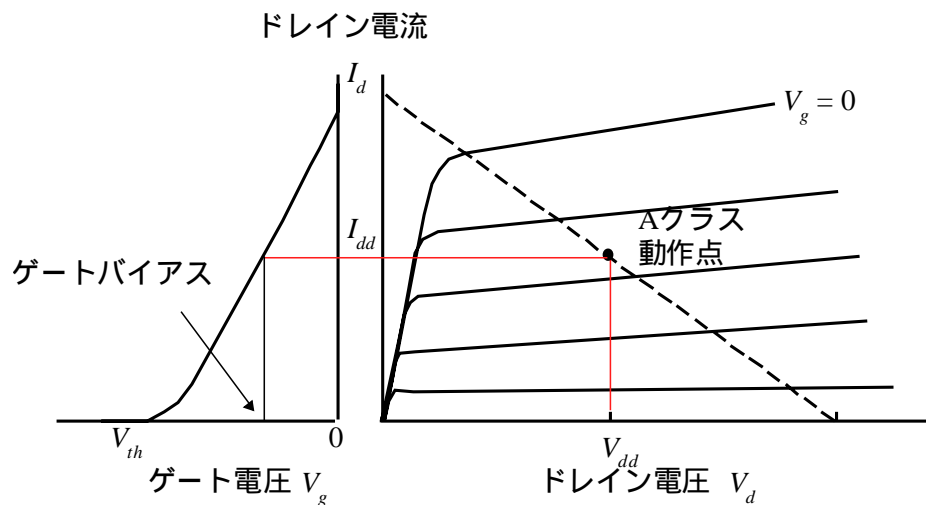


A級 / B級動作

電力効率



電力効率計算モデル



FETの V_d - I_d 特性

電力効率 $\eta_{dc} = \frac{P_{out}}{P_{dc}}$

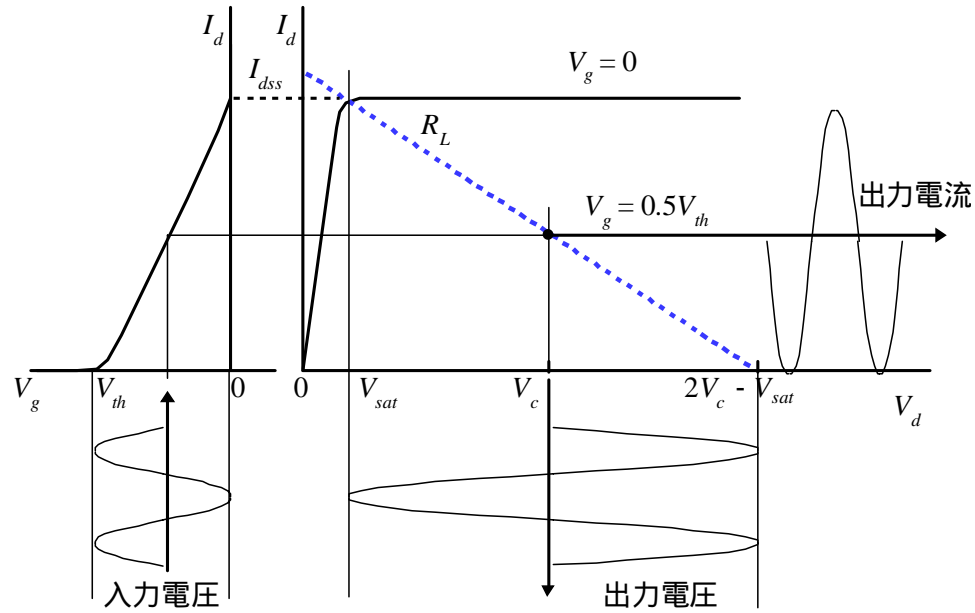
$$P_{dc} = V_{dd} I_{dd}$$

電力付加効率 $\eta_{add} = \frac{P_{out} - P_{in}}{P_{dc}}$

A級 / B級動作

A級増幅回路

$$\eta_{dc} = \frac{P_{out}}{P_{dc}}$$



V_d - I_d 特性のモデル

$$P_{dc} = \frac{1}{2} V_c I_{dss}$$

$$P_{out} = \frac{V_c}{\sqrt{2}} \times \frac{I_{dd}}{2\sqrt{2}} = \frac{V_c I_{dd}}{4}$$

電力効率

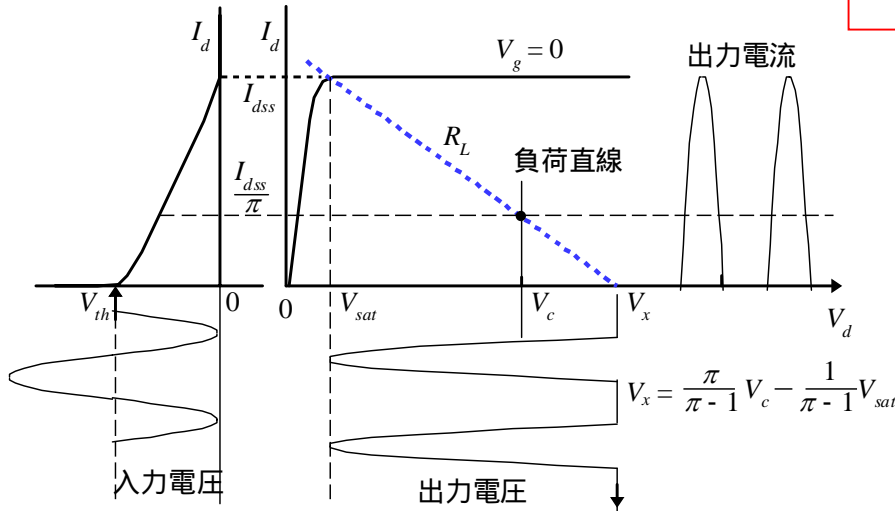
50% max

A級 / B級動作

B級増幅回路

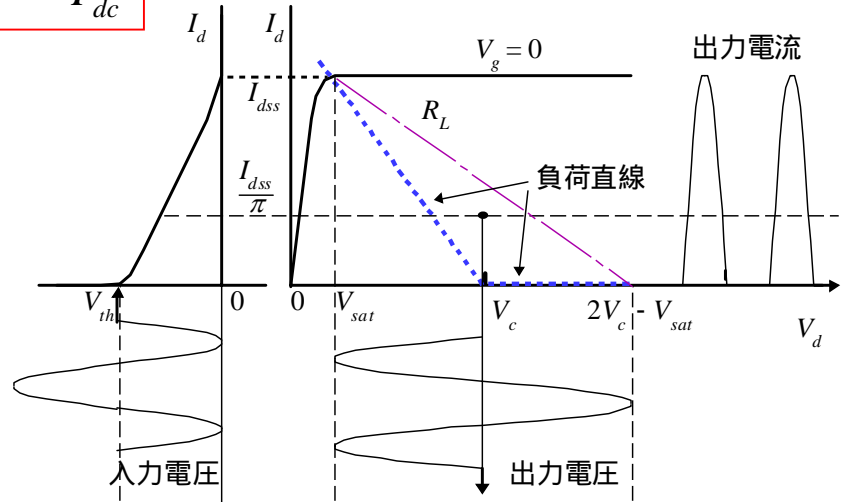
V_d - I_d 特性のモデル

$$\eta_{dc} = \frac{P_{out}}{P_{dc}}$$



抵抗負荷

$$P_{dc} = \frac{V_c I_{dss}}{\pi}$$



同調負荷

基本波電圧電流成分

$$I_{(1)} = \frac{1}{2} I_{dss} \quad V_{(1)} = -\frac{\pi}{2(\pi-1)} V_c$$

$$\eta_{dc} = \frac{I_{(1)} V_{(1)} / 2}{P_{dc}} = \frac{\pi^2}{8(\pi-1)} = 0.576$$

電力効率 57.6%max

基本波電圧電流成分

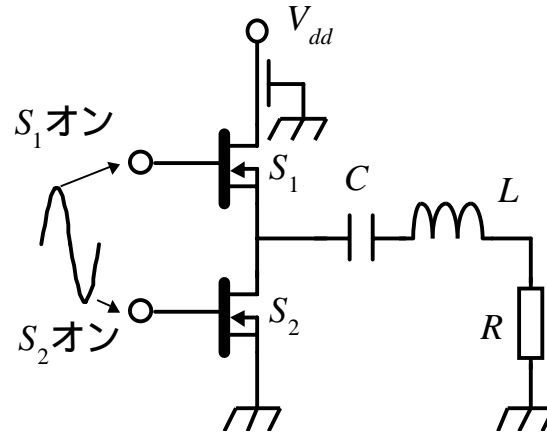
$$I_{(1)} = \frac{1}{2} I_{dss} \quad V_{(1)} = V_c$$

$$\eta_{dc} = \frac{I_{(1)} V_{(1)} / 2}{P_{dc}} = \frac{\pi}{4} = 0.785$$

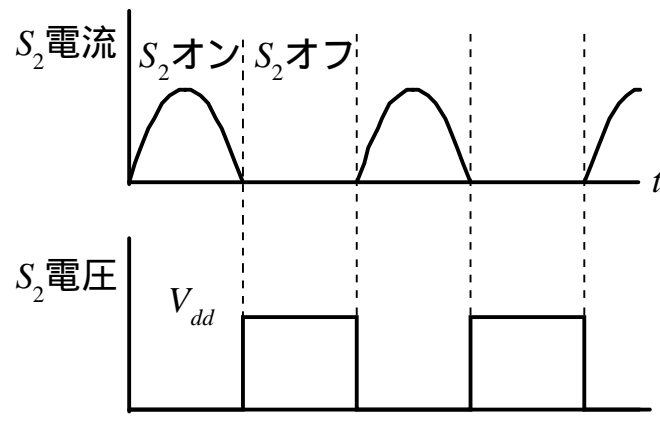
電力効率 78.5%max

D, E, F級動作

D級回路



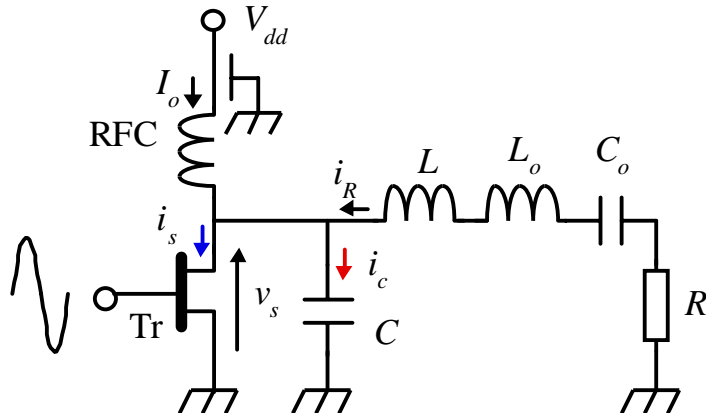
D級アンプの概念的回路



D, E, F級動作

E級回路

$$i_R + I_o = i_s + i_c$$



E級アンプの概念的回路

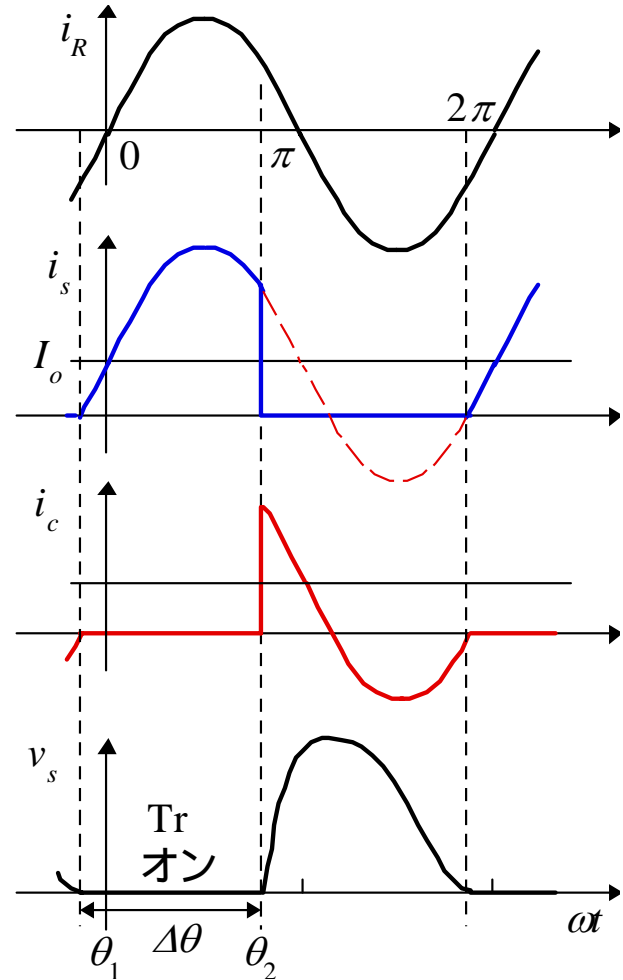
位相角 $\Delta\theta$ を、デューティ50%の π としたとき

$$L = \frac{R}{\omega} \tan 49.052^\circ$$

$$C = \frac{1}{\omega R} \frac{8}{\pi(\pi^2 + 4)} = \frac{1}{5.4466\omega R}$$

$$R = \frac{8}{\pi^2 + 4} \frac{V_{dd}^2}{P_{out}} = 0.5768 \frac{V_{dd}^2}{P_{out}}$$

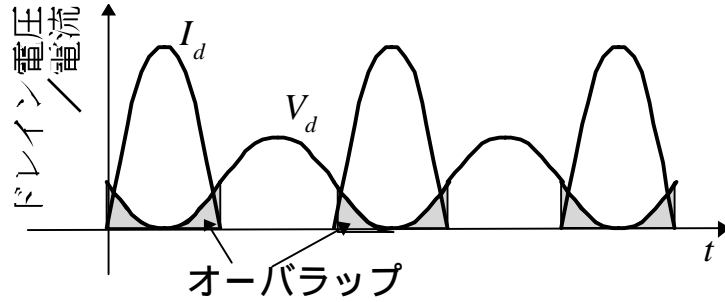
$$C_o = \frac{1}{\omega R Q_L} \quad L_o = \frac{1}{\omega^2 C_o}$$



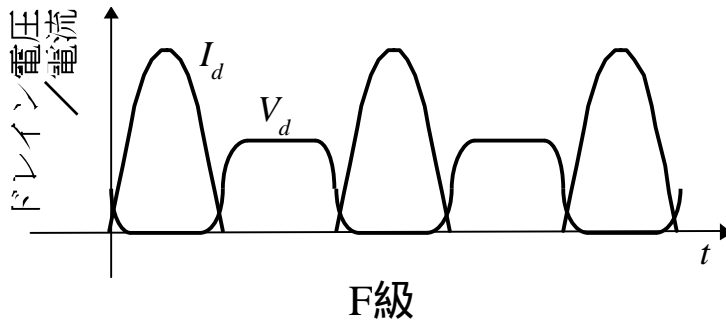
電圧電流の様子

D, E, F級動作

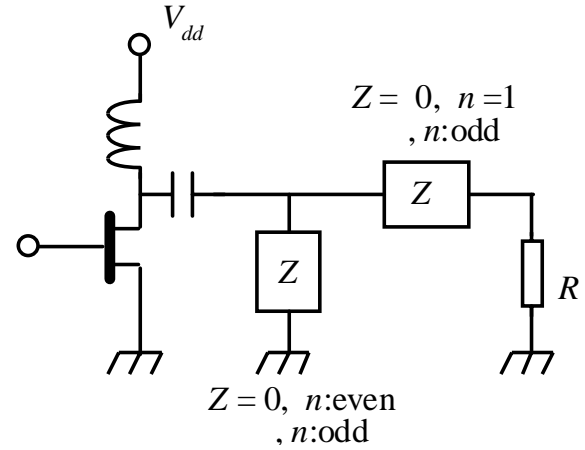
F級回路



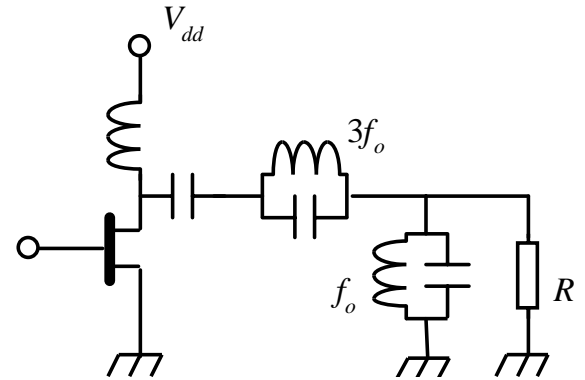
B級



電圧波形の修正



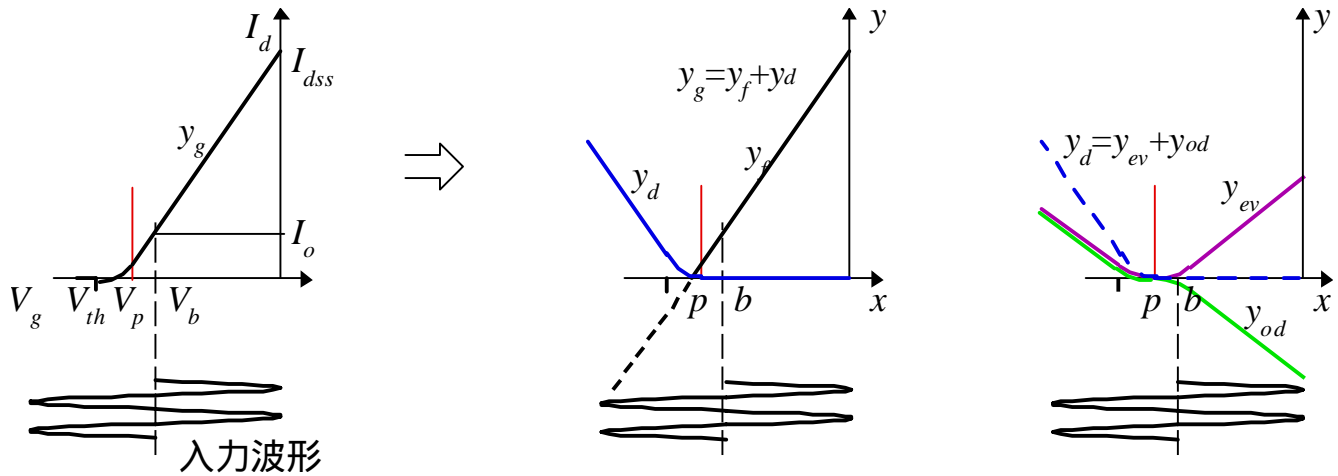
原理的回路



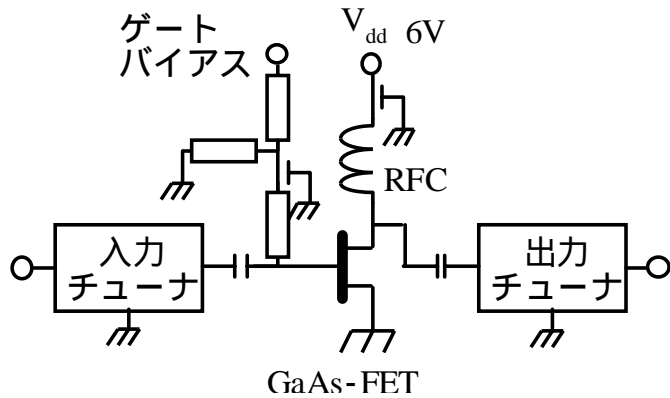
3倍重畳回路

AB級リニアアンプ

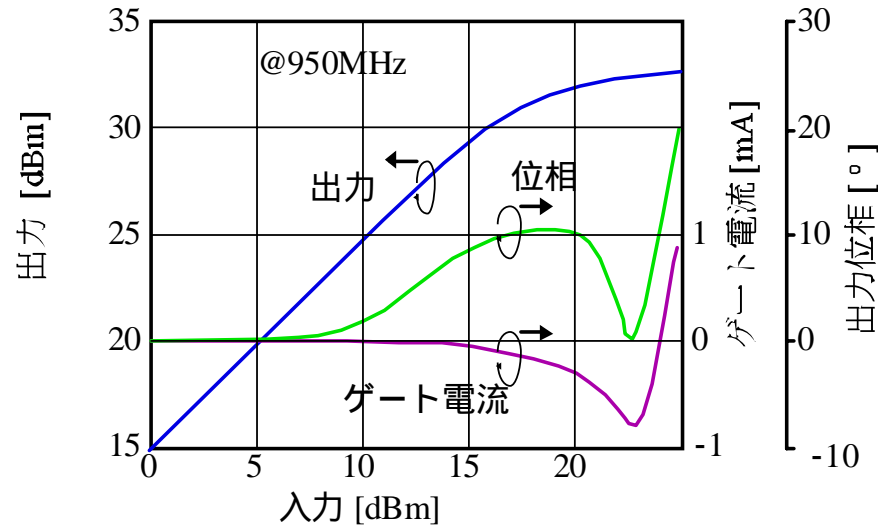
標準回路



AB級動作と V_g - I 特性の解析

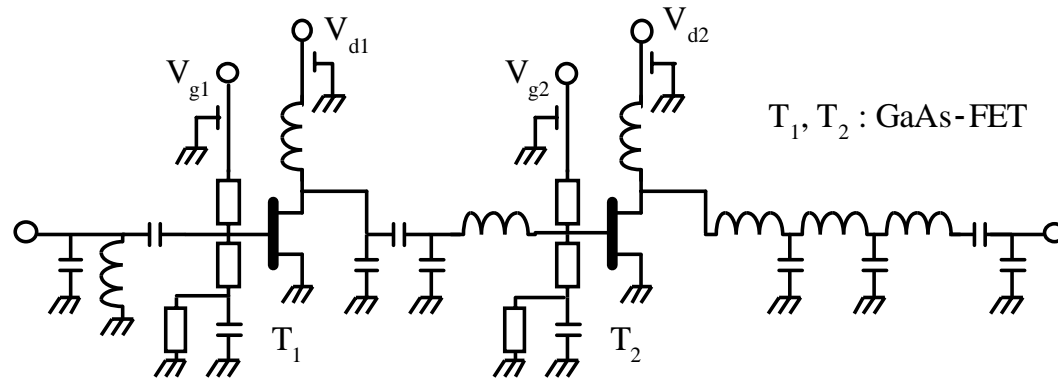


テスト回路と特性

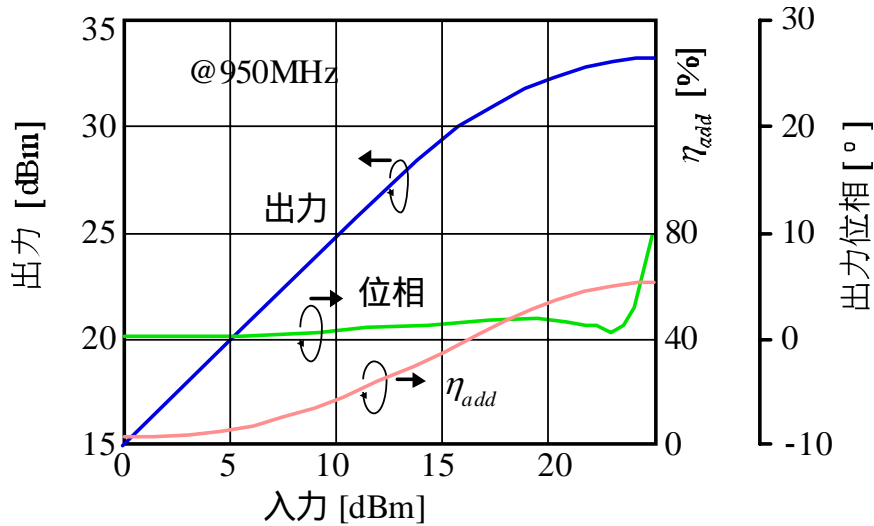


AB級リニアアンプ

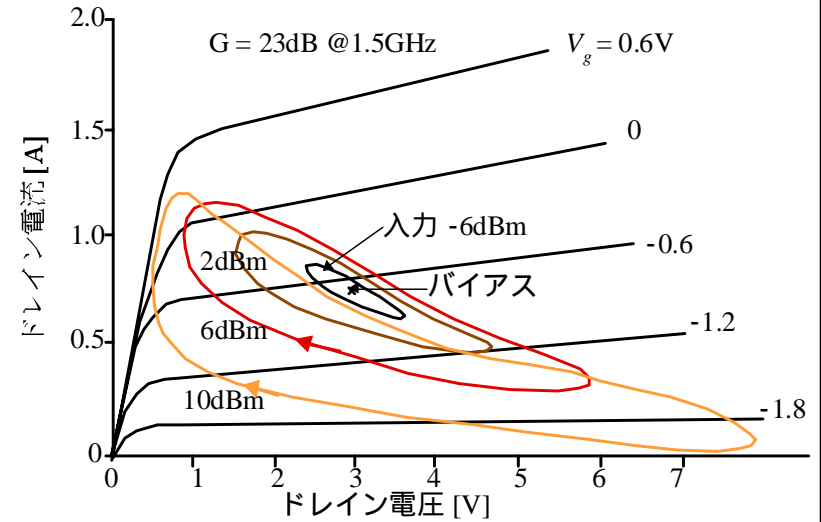
実際の回路



AB級GaAs-FETパワーアンプ回路



位相特性の改善

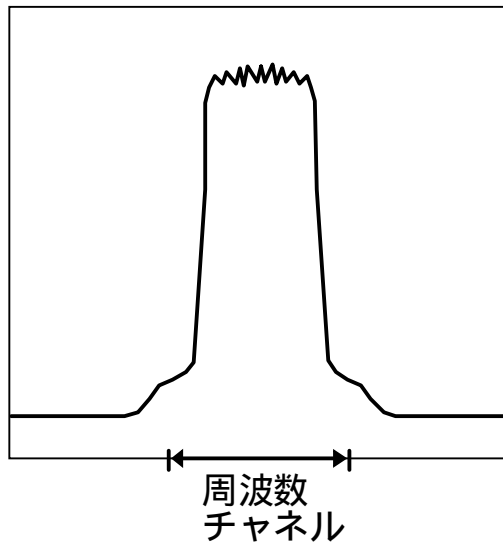


実際のA級動作の負荷曲線

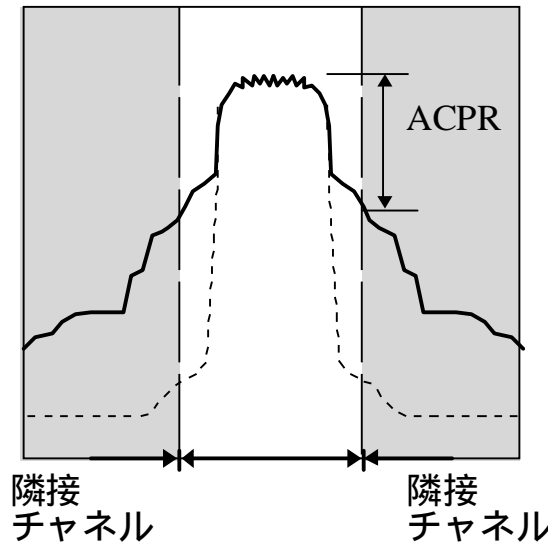
ACPR

Adjacent channel power ratio

隣接チャンネルへのスペクトルの広がり



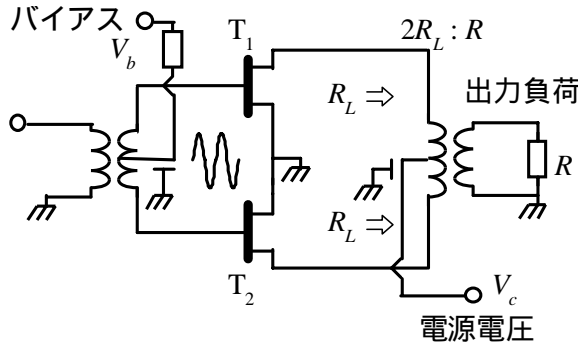
帯域制限QPSK



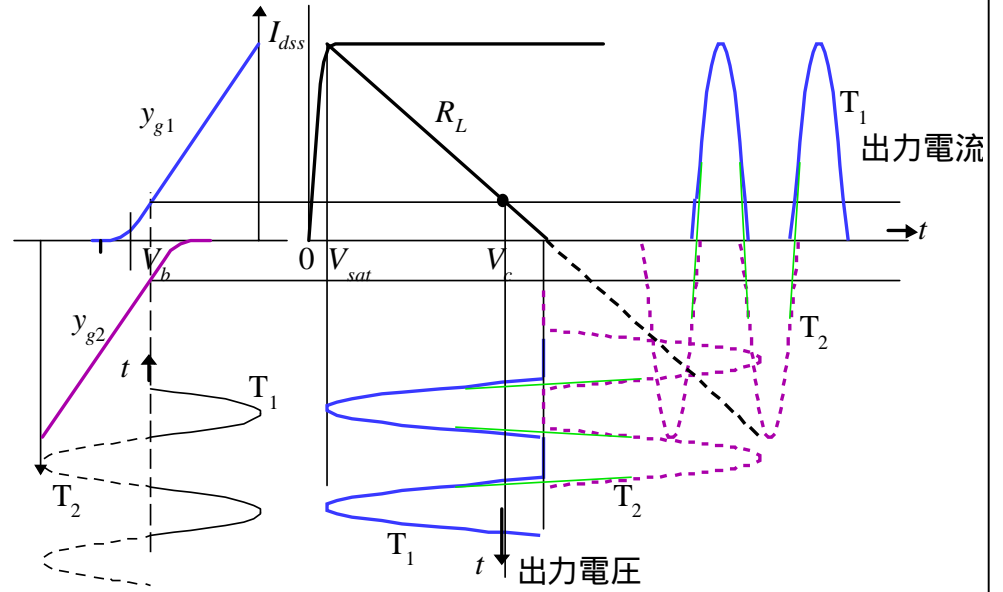
3次, 5次歪みによる隣接妨害

プッシュプル回路

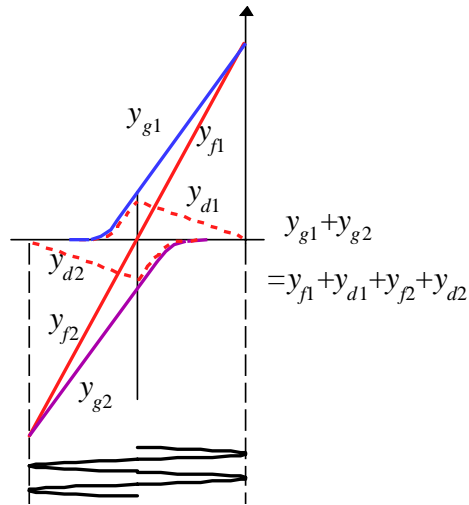
AB級の差動合成



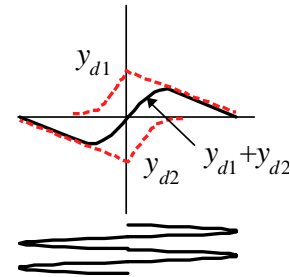
原理的回路



V-I特性

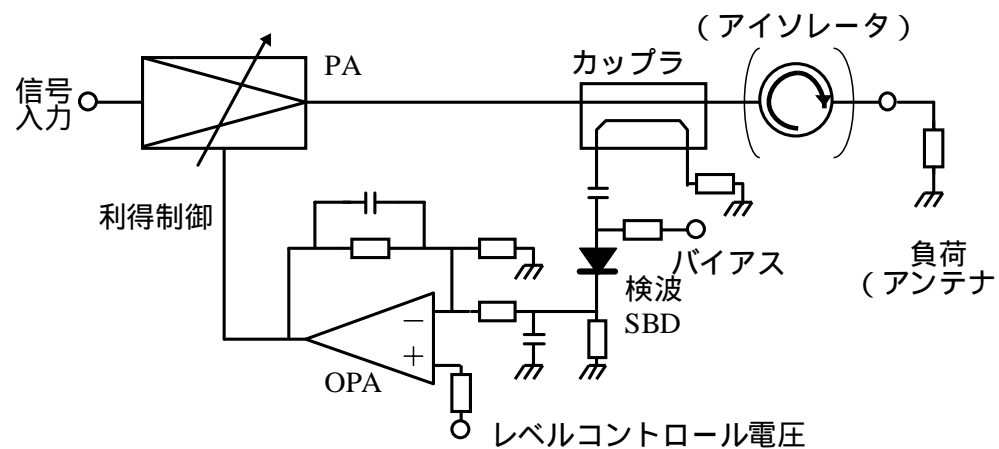


歪み特性の抜き出し

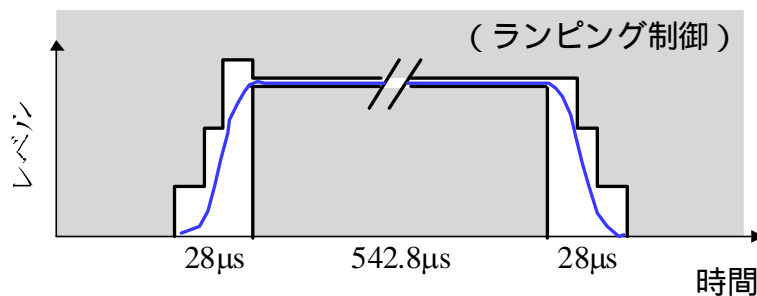


パワーコントロール回路

負帰還形



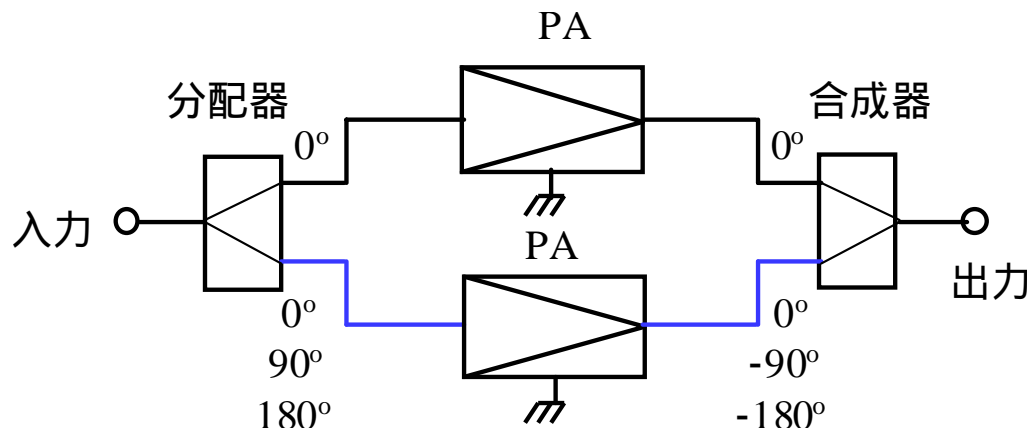
標準的構成



GSMのバーストのレベルタイムマスク

電力合成

分配器 / 合成器形



0° : ウィルキンソン分配器

90° : ハイブリッド回路

180° : バラン

n - 分配形

トーナメント形

線形補償PA

2つの方式

1. フィードフォワード方式

PAで発生する歪み成分を、予測や抜き出しで生成

これを最後に逆位相で加えてキャンセル

2. フィードバック方式

入力信号を復調し、ベースバンドの基準信号とする

PAの出力信号を復調し、基準信号と比較する

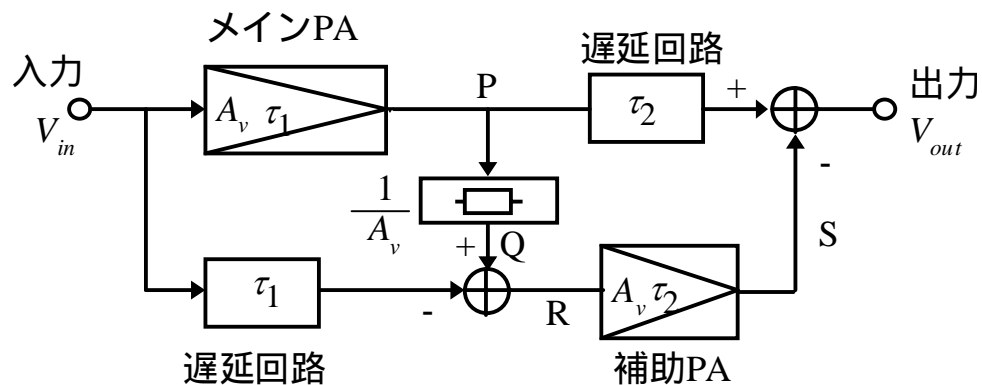
この差がゼロになるよう、新たな変調回路で変調信号をつくる

3. PA高効率化(低消費電力)

高効率(非線形飽和)動作で線形な出力を得る。

線形補償PA

フィードフォワード方式



原理的な回路

$$V_p = A_v V_{in} + V_d$$

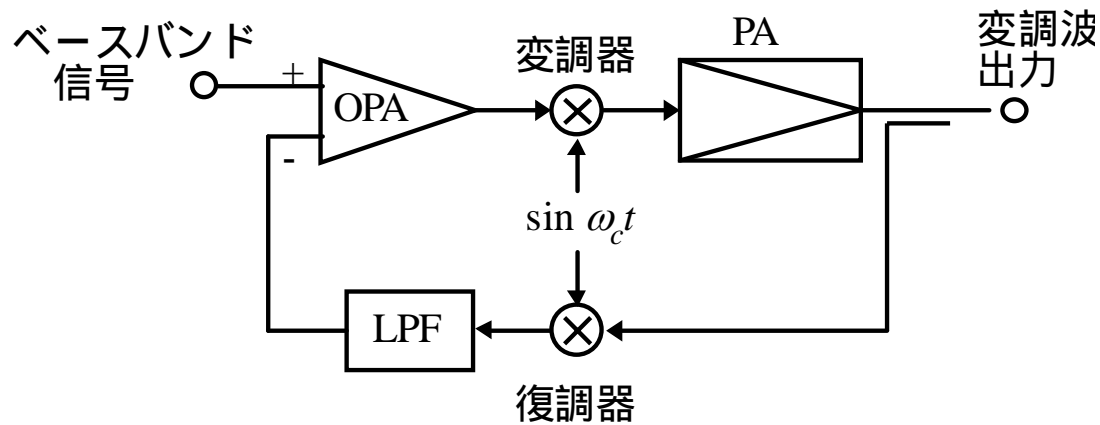
$$V_q = V_{in} + V_d / A_v$$

$$V_r = V_d / A_v$$

$$V_s = V_d$$

線形補償PA

フィードバック方式

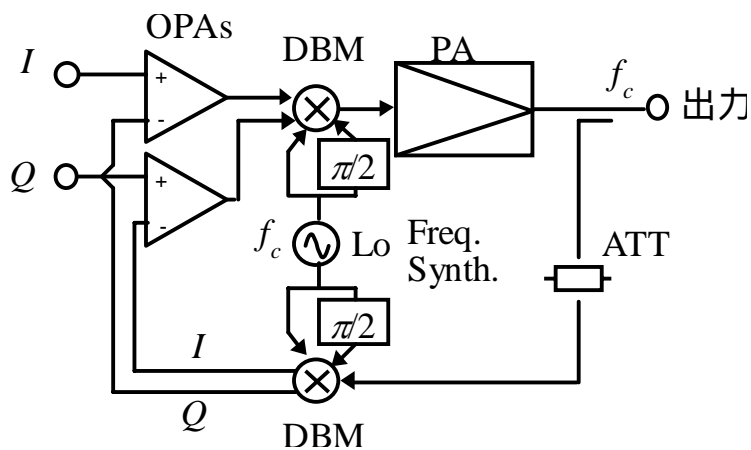


原理的な構成図

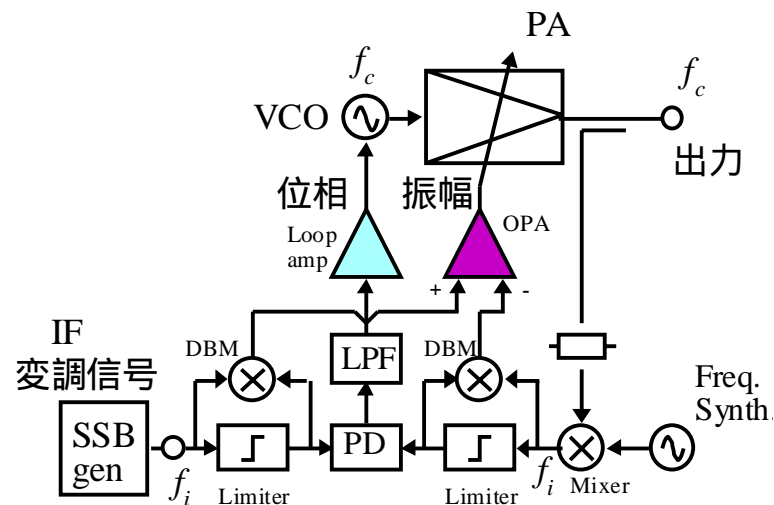
線形補償PA

フィードバック方式2

デジタル変調への応用



Cartesian feedback



Polar loop法

デジタルプリディストーション方式

PAのAM-AM (AM抑圧) 情報

PAのAM-PM歪み情報

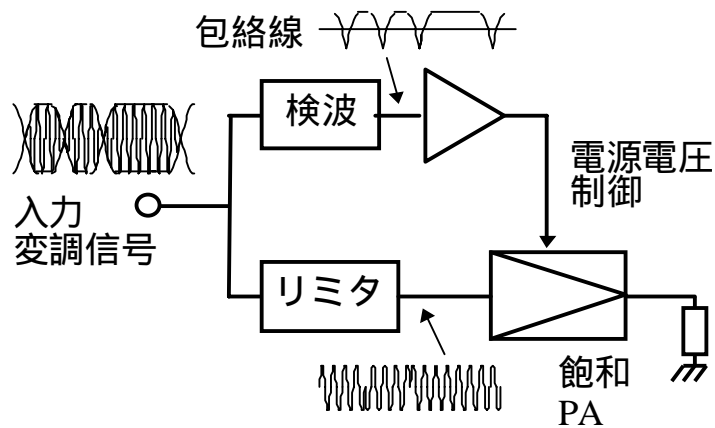
LUT

逆歪みのI, Q信号波形を作り出す

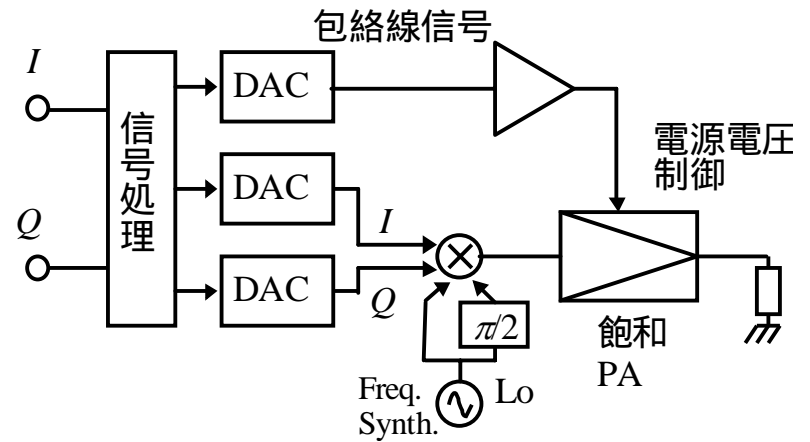
原則的にオープンループ

線形補償PA

EER (Envelope elimination and restoration)



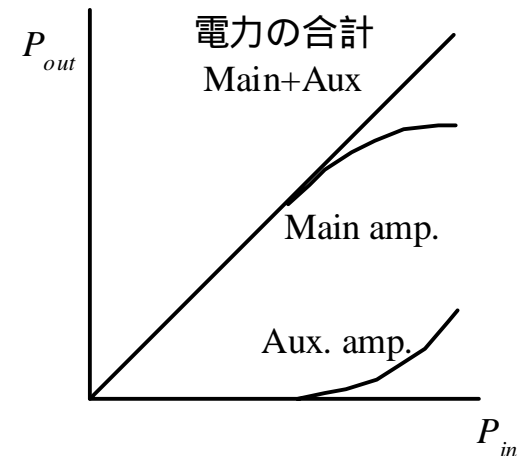
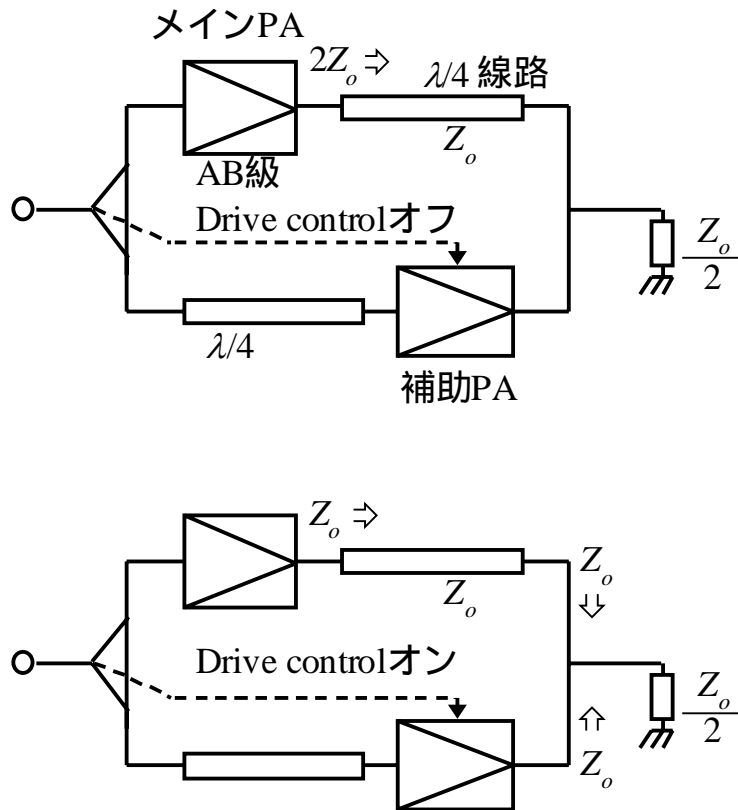
アナログ方式



デジタル方式(ポーラ変調)

線形補償PA (高効率化)

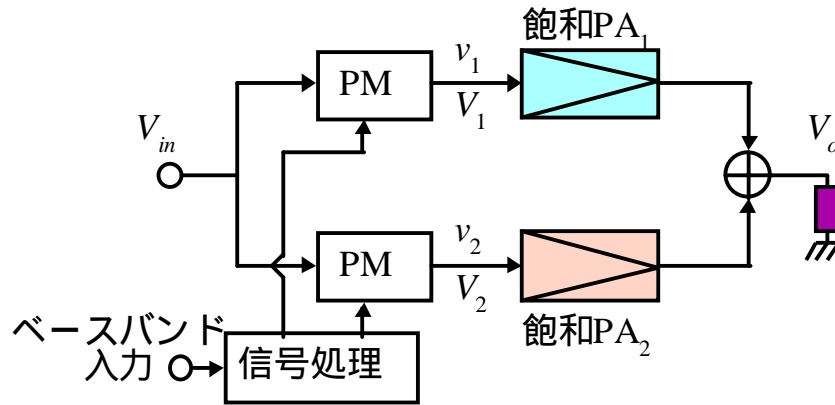
ドハティアンプ



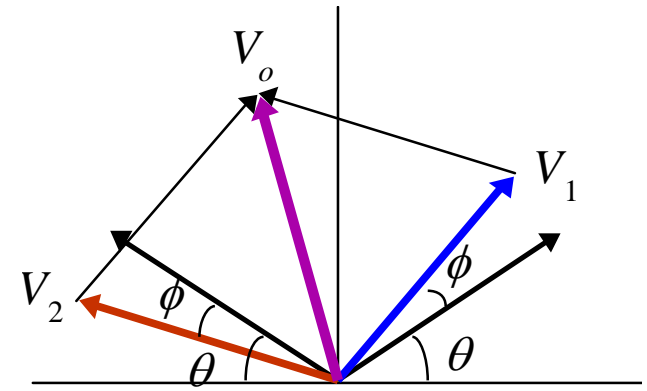
補助(ピーク)PAオンで主PAの負荷インピーダンスが低くなる
PAE重視の高効率化

線形補償PA (高効率化)

LINC方式



ブロック図



信号ベクトル図

$$v_1(t) = 0.5V_0 \sin(\omega_c t + \phi(t) + \theta(t))$$

$$v_2(t) = 0.5V_0 \sin(\omega_c t + \phi(t) + \pi - \theta(t))$$

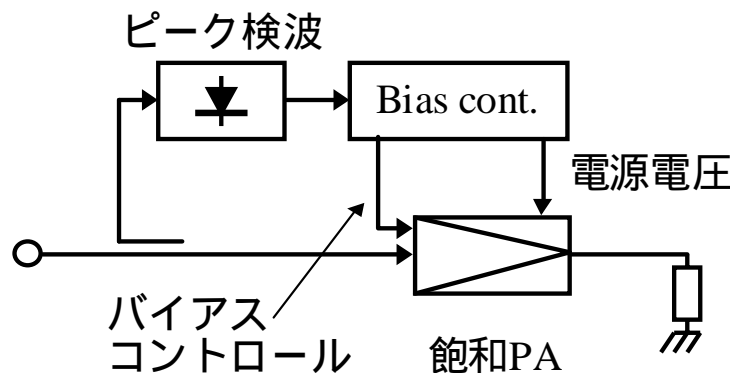
合成電圧は

$$v_o(t) = v_1 + v_2 = a(t) \cos(\omega_c t + \phi(t))$$

ただし $a(t) = V_0 \sin \theta(t)$

線形補償PA(高効率化)

バイアスコントロール



原理的な構成

携帯電話の最大出力: 0.5 ~ 1W

通話時平均電力: 10 ~ 20mW