

## 第9回 現代の増幅器の考え方

TDU



講義資料は  
<http://amplet.tokyo/tdu>  
からダウンロードできます。

初版：2017年3月19日  
更新：2017年6月22日  
更新：2017年6月27日  
更新：2017年6月29日

ユビキタス無線工学  
担当：根日屋 英之

2017年6月8日

1

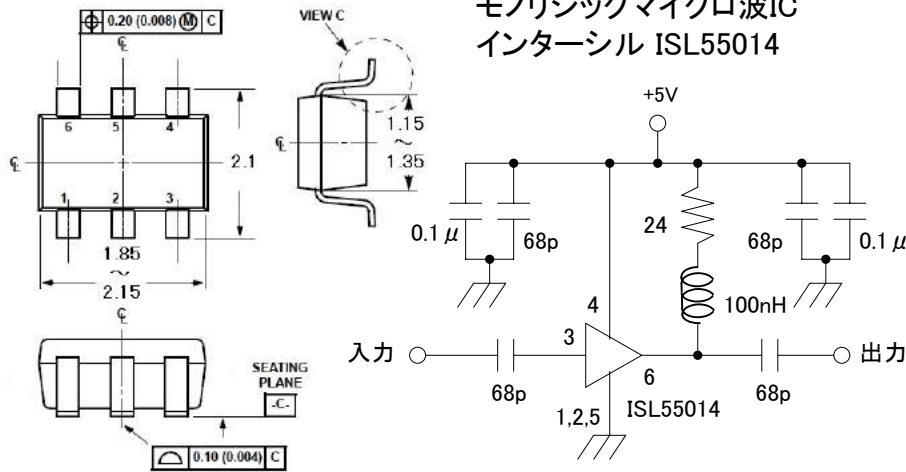
## 小信号高周増幅器

2017年6月8日

2

## MMIC高周増幅器の回路図

TDU



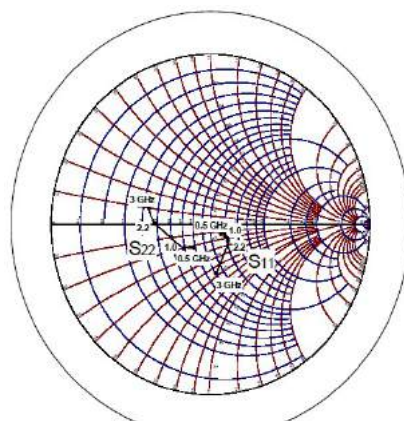
インターシル ISL55014 のデータシートから転載

2017年6月8日

3

## 高周増幅器の入・出カインピーダンス

TDU



インターシル ISL55014  
のデータシートから転載

FIGURE 11. S11 AND S22 vs FREQUENCY

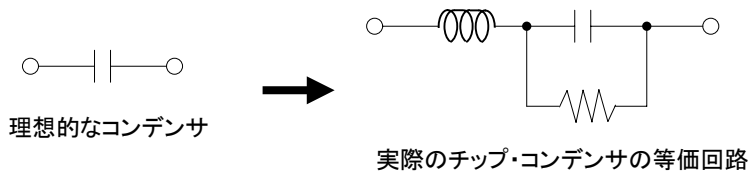
ISL55014の入・出カインピーダンス特性

2017年6月8日

4

## 理想的なコンデンサと実際のチップ・コンデンサ

TDU



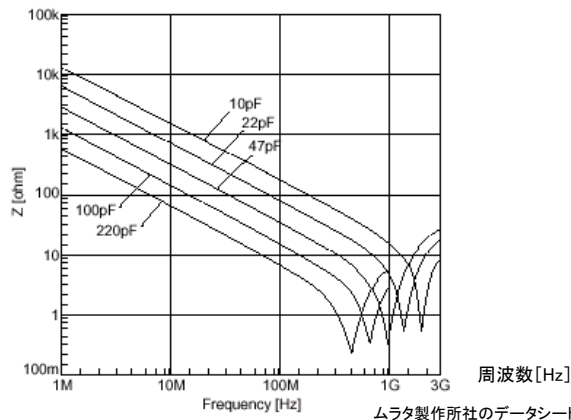
2017年6月8日

5

## コンデンサCの容量値の決め方

TDU

インピーダンス[Ω] GRMシリーズ (SL特性)

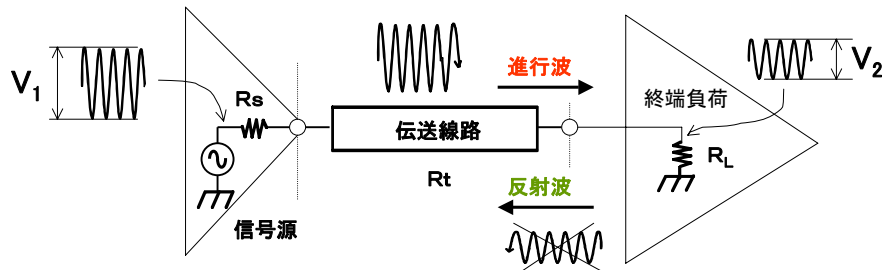


2017年6月8日

6

## 伝送理論の基礎 …… 高周波の領域

TDU



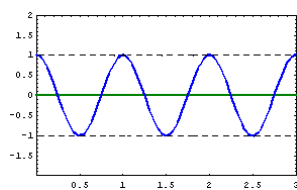
- $R_s = R_t = R_L$  ならば反射は起こらない.
- $R_s = R_L$  なので,  $V_2 = V_1/2$  となる.

2017年6月8日

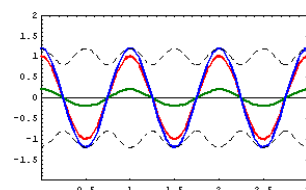
7

## 伝送理論の基礎

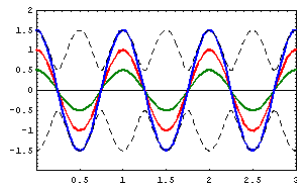
TDU



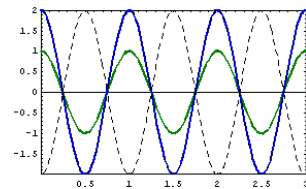
進行波: 1 反射波: 0



進行波: 1 反射波: 0.2



進行波: 1 反射波: 0.5



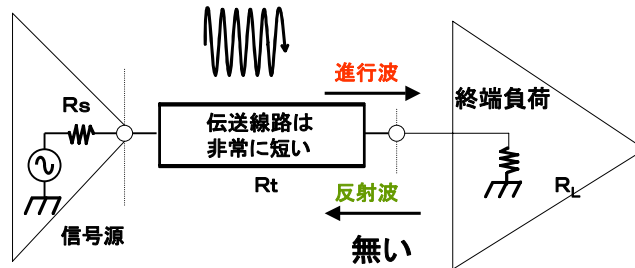
進行波: 1 反射波: 1

2017年6月8日

8

## 伝送理論の基礎 …… 低周波の領域

TDU



$$\begin{cases} R_s = 0 \Omega \\ R_L = \infty \end{cases}$$

2017年6月8日

9

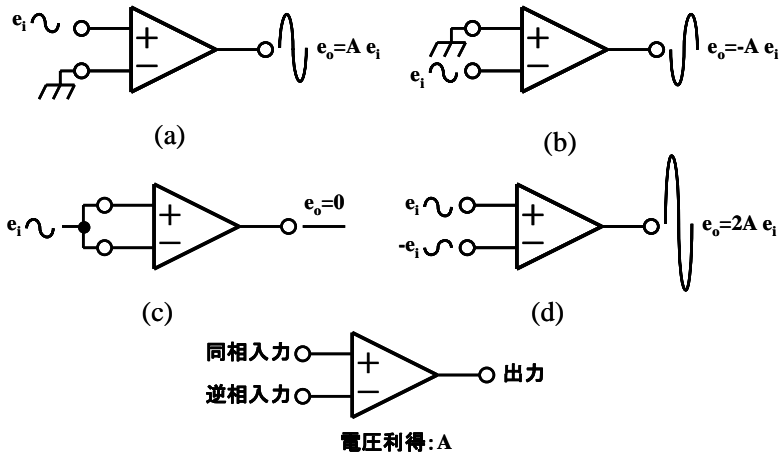
## 小信号低周増幅器

2017年6月8日

10

# OPアンプによる低周波増幅器の設計法

TDU



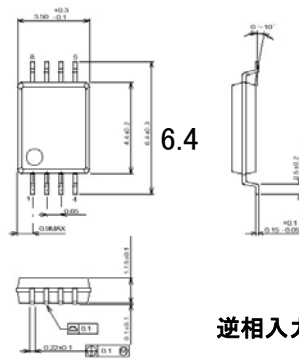
2017年6月8日

11

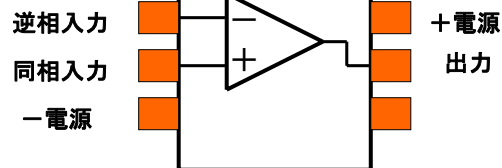
# OPアンプによる低周波増幅器の設計法

TDU

SSQP8



OPアンプの特徴  
 入力インピーダンス : 非常に高い  
 出力インピーダンス : 非常に低い

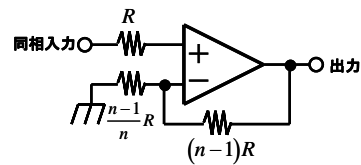


2017年6月8日

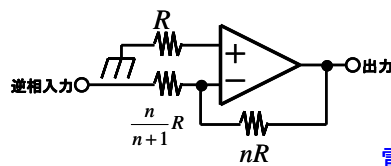
12

## OPアンプによる低周波増幅器の設計法

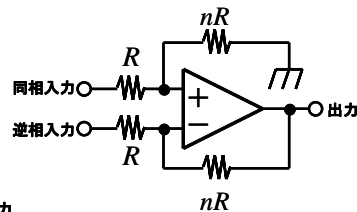
TDU



(a) 非反転増幅器



(b) 反転増幅器



(c) 差動増幅器

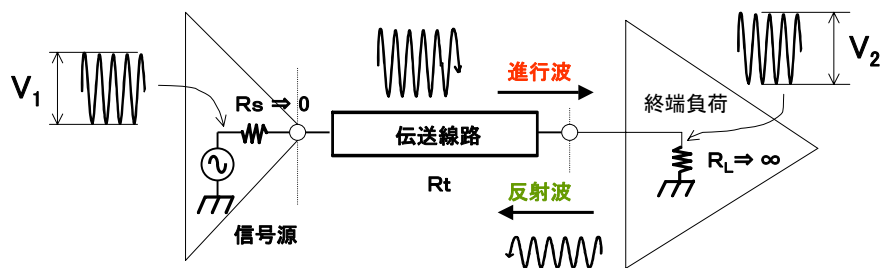
電圧利得がn倍の低周波増幅器

2017年6月8日

13

## 伝送理論の基礎 …… 低周波の領域

TDU

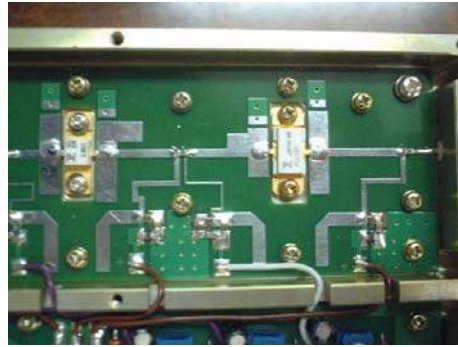


- ・ 低周波の領域では、電装線路は非常に短い。
- ・  $R_s \neq R_L$  で反射が起こっても定在波はたたない。
- ・  $R_s = 0$ ,  $R_s = \infty$  として,  $V_2 = V_1$  としてもよい。

2017年6月8日

14

## 高出力高周波増幅器



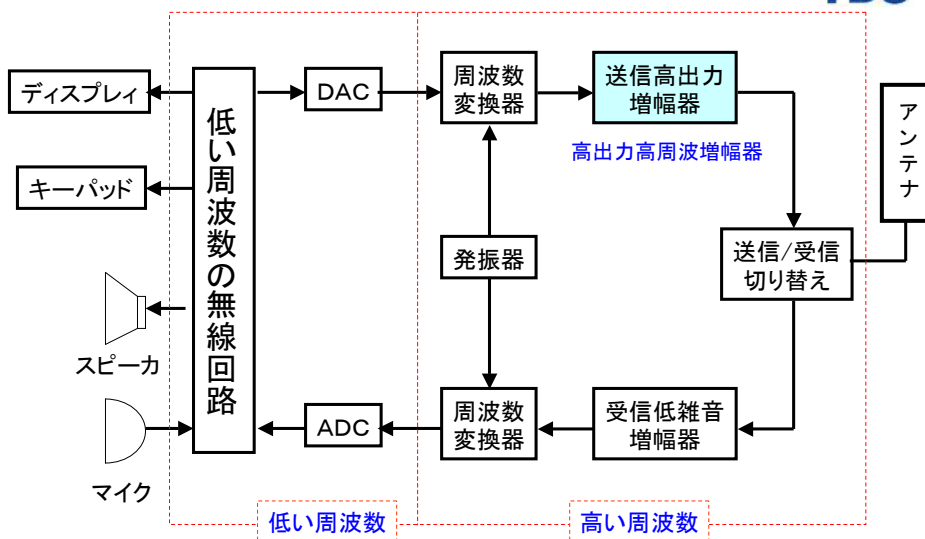
2017年6月8日

15

## 無線機の標準的なブロック図

更新：2017年6月27日

TDU

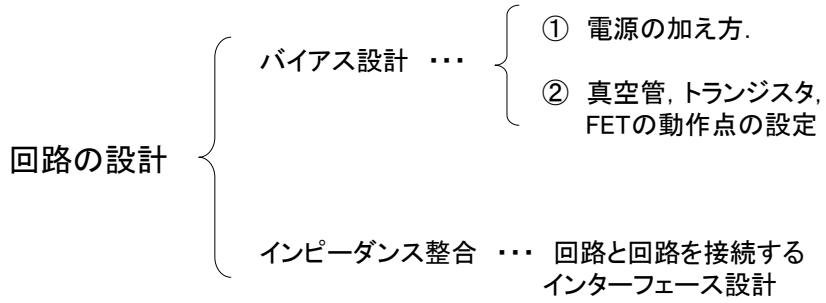


2017年6月8日

16



# 回路の設計

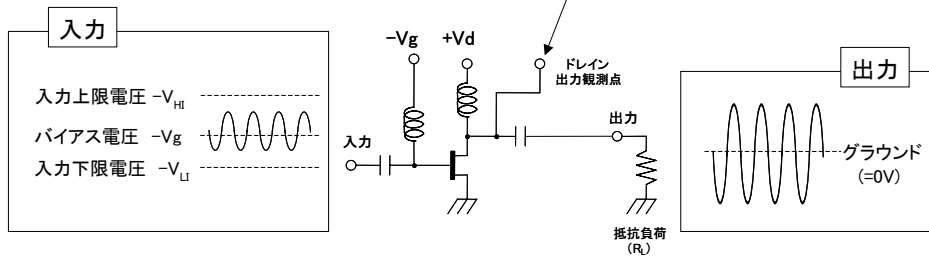


2017年6月8日

17

# A級動作高出力増幅器 (歪は少ないが低効率)

- (1) 小信号から増幅できる.
- (2) 歪みは非常に少ない.
- (3) 効率は悪いので, 消費電力が大きい.
- (4) タンク回路はなくても良い.



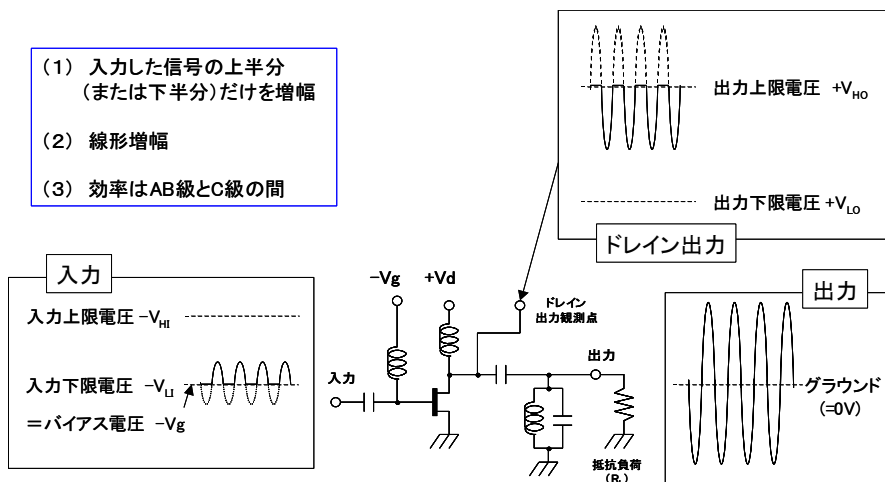
2017年6月8日

18

## B級動作高出力増幅器

TDU

- (1) 入力した信号の上半分 (または下半分) だけを増幅
- (2) 線形増幅
- (3) 効率はAB級とC級の間



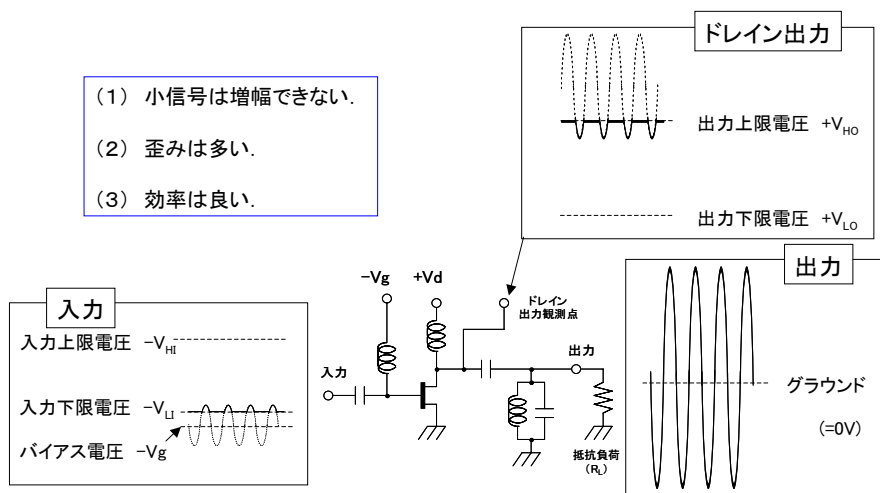
2017年6月8日

19

## C級動作高出力増幅器 (歪は多いが高効率)

TDU

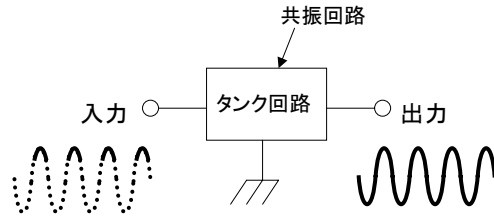
- (1) 小信号は増幅できない.
- (2) 歪みは多い.
- (3) 効率は良い.



2017年6月8日

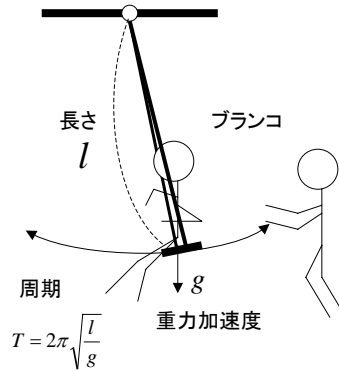
20

# タンク回路とは



タンク回路の動作の微分方程式がブランコの単振動動作と同じように表現される。ブランコは、押す人の前にブランコが振れてきたときに、ブランコに乗っている人の背中をちょっと押すだけで周期  $T$  で揺れ続ける。この動作と同じような振る舞いをする電気回路が、タンク回路(バンドパスフィルタなどの共振回路)である。

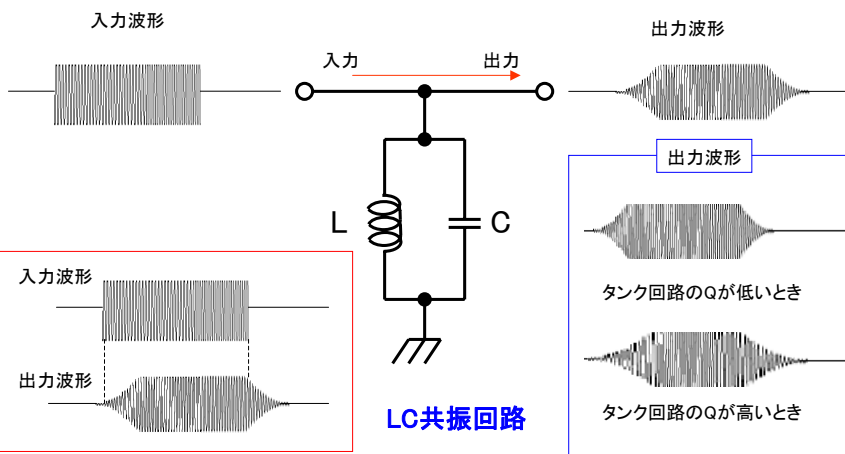
タンク回路の共振回路と同じ周波数の交流信号の一部をタンク回路に入力すると、出力には交流信号が全周期で再生され出力される。



2017年6月8日

21

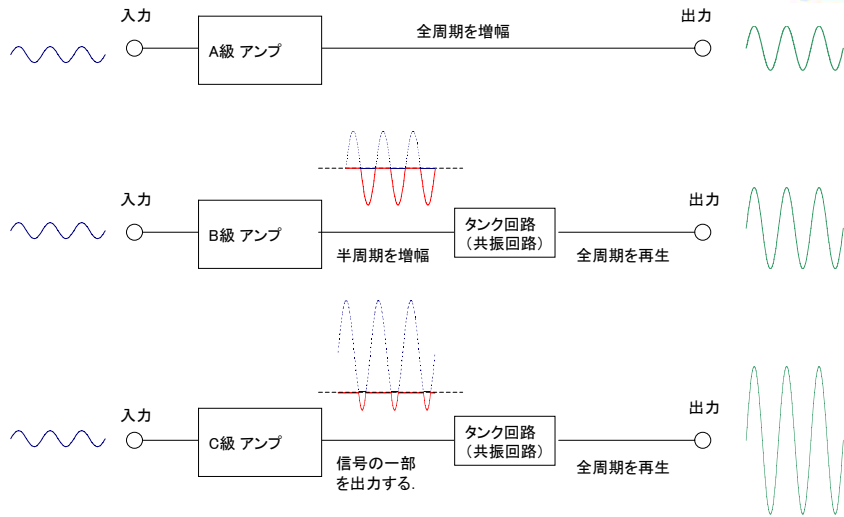
# タンク回路とは



2017年6月8日

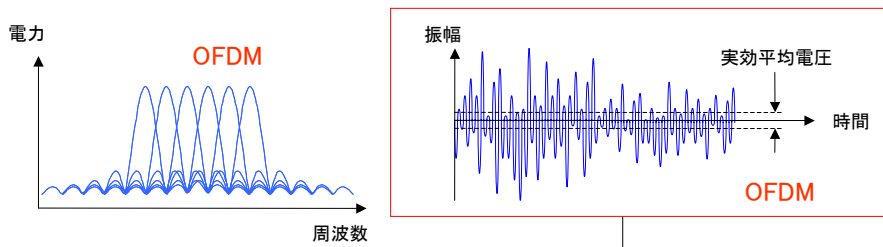
22

# アンプの動作



2017年6月8日

# OFDMを時間軸で見た波形 ... そこには技術面での大問題が存在する



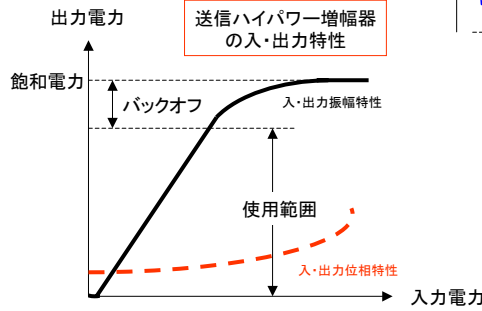
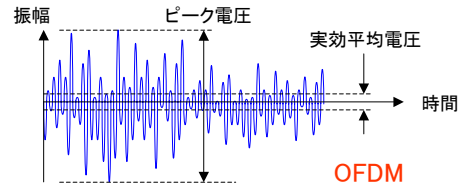
- 時間変化による振幅変化が大きい。
- 増幅器に線形性が要求される。
- 増幅器の効率が低下 → **モバイルでは消費電力で大問題 !**

2017年6月8日

## 送信高出力増幅器の問題点

TDU

バックオフ > PAR  
 例 : OFDM ... PAR ≒ 10dB  
 π/4シフトQPSK ... PAR ≒ 3dB



● PAR ... Peak Average Ratio

$$PAR = \frac{\text{ピーク電力}}{\text{実効平均電力}} = \frac{(\text{ピーク電圧})^2}{(\text{実効平均電圧})^2}$$

● バックオフ

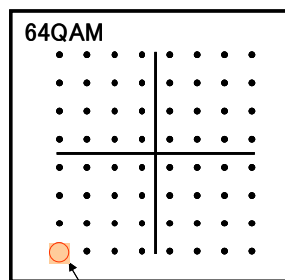
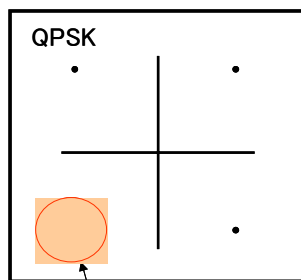
ハイパワー増幅器の実用範囲における最大出力電力と飽和電力の差。バックオフが大きいほど線形性は良くなるが、増幅器の効率は低くなる。

2017年6月8日

25

## 送信高出力増幅器のEVM

TDU



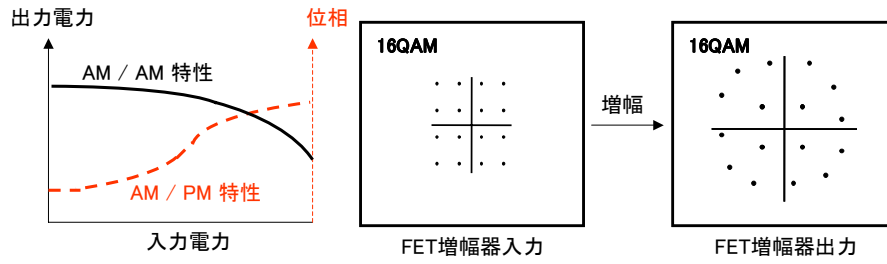
EVM(Error Vector Magnitude) デジタル変調信号の品質を表すパラメータ。送信ハイパワー増幅器でいうと飽和具合を理想的な線形性で正規化した値。

2017年6月8日

26

# 高周波高効率増幅器

TDU



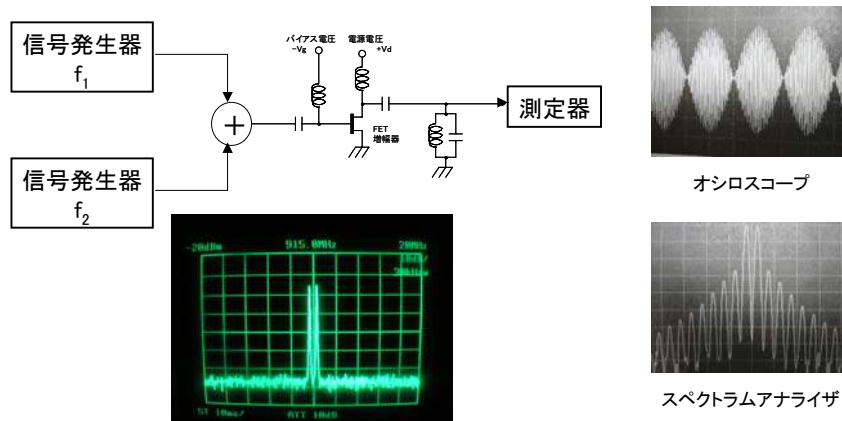
入・出力振幅特性 : AM / AM特性  
 入・出力位相特性 : AM / PM特性

2017年6月8日

27

# 高出力増幅器の飽和歪の測定方法

TDU

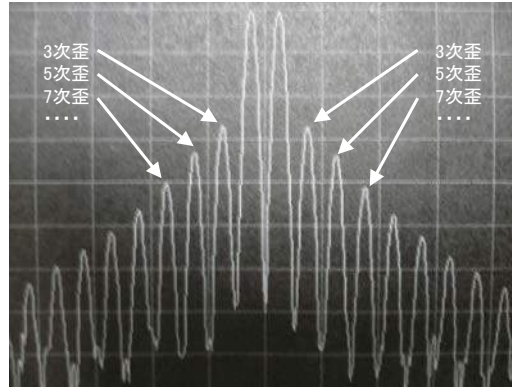


2017年6月8日

28

# 高出力増幅器の飽和歪の測定方法

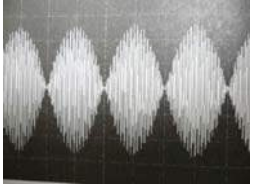

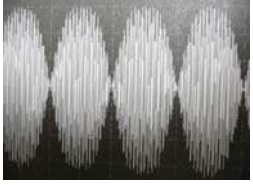

飽和歪



OFDMでは、変調信号への障害となる。

2017年6月8日



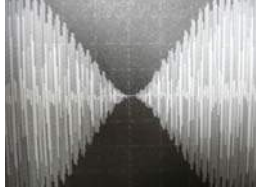

# 高出力増幅器の飽和歪の測定方法

<p>直線性が良好</p>	 <p>オシロスコープ</p>	 <p>スペクトラムアナライザ</p>
<p>飽和状態</p>	 <p>オシロスコープ</p>	 <p>スペクトラムアナライザ</p>

2017年6月8日

## 高出力増幅器のクロスオーバー歪の測定方法

TDU

直線性が良好	 オシロスコープ	 スペクトラムアナライザ
クロスオーバー歪	 オシロスコープ	 スペクトラムアナライザ

2017年6月8日

31

## 送信高出力増幅器の技術課題

TDU

- ① 増幅器自体が高効率であること
- ② 増幅器の歪を抑圧すること

2017年6月8日

32



## 低歪増幅器

2017年6月8日

33

## 低歪・高出力増幅器

TDU

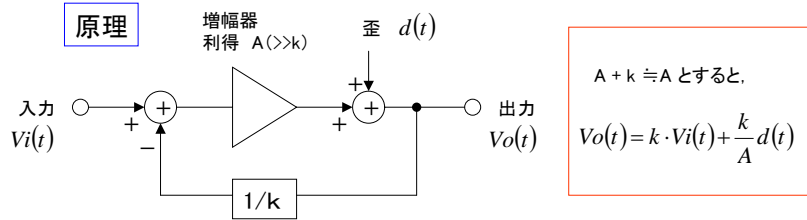
- ・ フィードバック型, フィードフォワード型, プリディストーション型などがある.
- ・ 原理的に増幅器で発生する歪を逆の極性で打ち消す.
- ・ プリディストーション型では, 完全な逆極性の歪を作ることは難しいので, 増幅器の歪そのものを用いて打ち消す他の二方式よりは効果は低い.

	歪補償量	広帯域特性	高効率化	小型化
フィードバック型	~30dB	△	◎	◎
フィードフォワード型	~30dB	○	△	△
プリディストーション型 (デジタル)	~20dB	○	○	○
プリディストーション型 (アナログ)	~10dB	◎	○	○

2017年6月8日

34

# フィードバック型増幅器

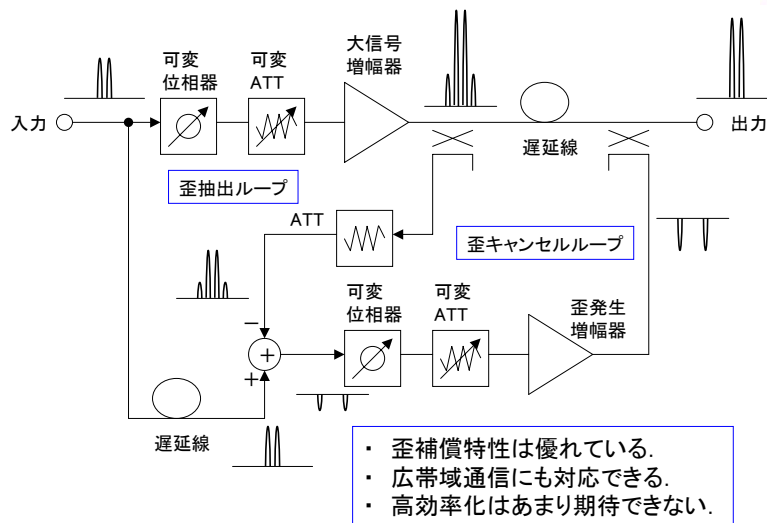


- ・ 変調信号の振幅, 位相変化に追従できる高速なフィードバック回路が必要.
- ・ 制御回路は不要.
- ・ 系の安定性を考えると, 広帯域化が難しい.
- ・ 高効率化, 小型化には適する.
- ・ 歪補償量 ... 30dB

2017年6月8日

35

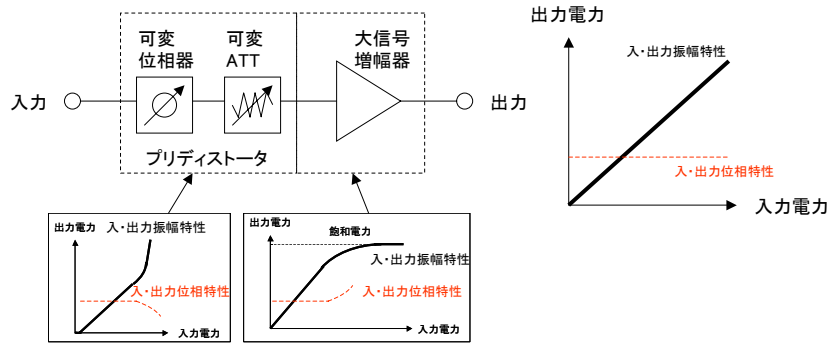
# フィードフォワード型増幅器



2017年6月8日

36

# プリディストーション型増幅器



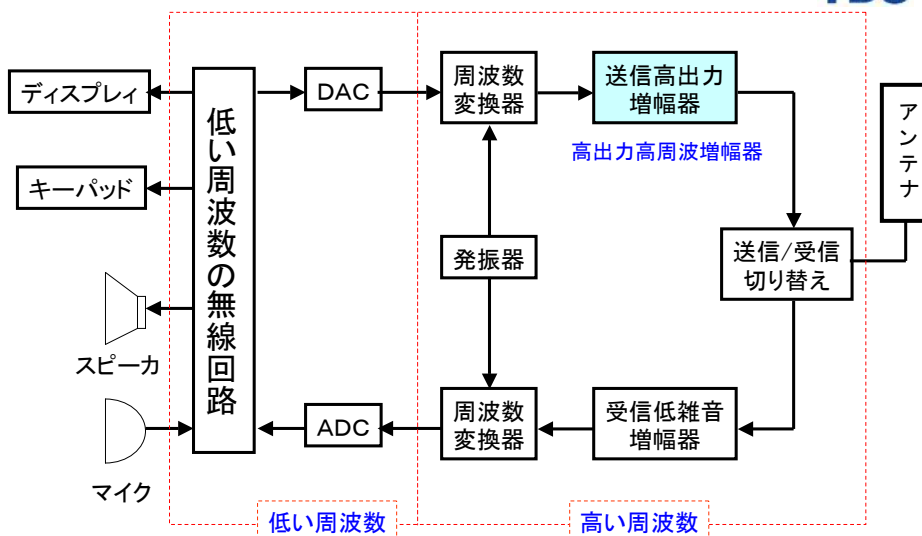
- 増幅器のメモリ効果 (AM/AM変換, AM/PM変換に周波数依存性がある) を補償する必要がある.
- フィードバック回路が無いので系が安定しており, 広帯域通信にも対応できる.

2017年6月8日

37

# 無線機の標準的なブロック図

更新 : 2017年6月27日



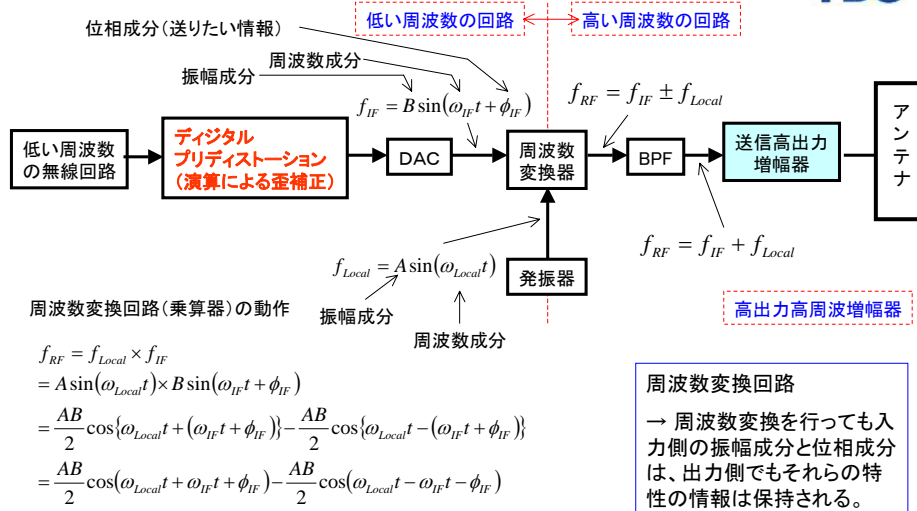
2017年6月8日

38

# 周波数変換回路(乗算器)の動作

更新：2017年6月27日  
更新：2017年6月29日

TDU

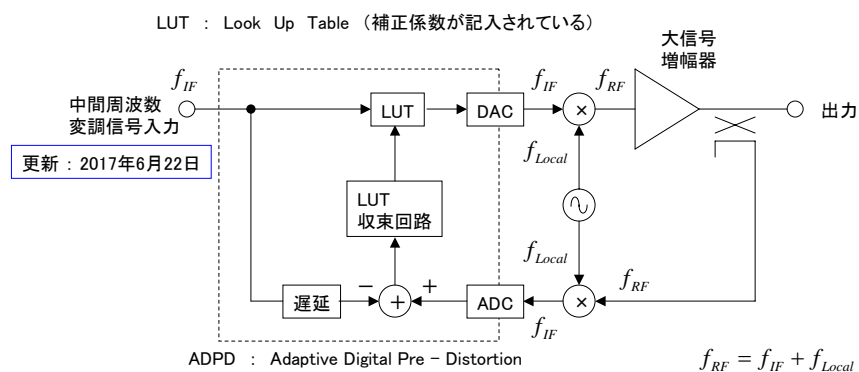


2017年6月8日

39

# デジタルプリディストーション型増幅器

TDU



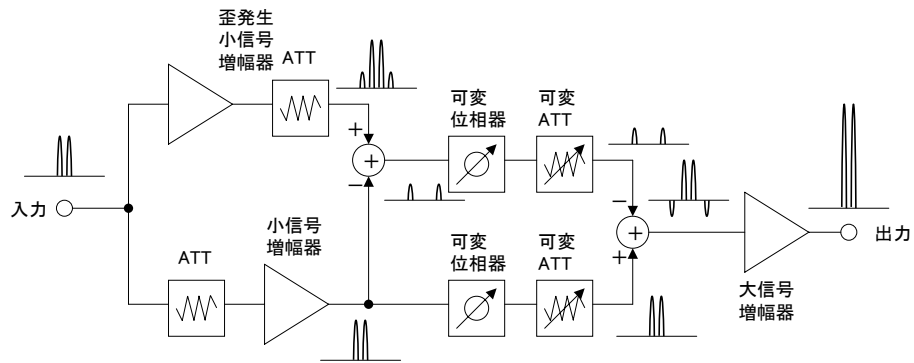
- ・ 入力の振幅, または(I, Q)の値をインデックスとする.
- ・ 演算回路, ADC, DACは, 変調速度よりも高速である必要がある.

2017年6月8日

40

# アナログプリディストーション型増幅器

TDU



- ・ ダイナミックレンジが広い範囲で歪補償ができる。
- ・ 広帯域通信にも対応できる。

2017年6月8日

41