

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

## 9. その他の回路

2005年 12月14日(水)

1. LPF
2. BPF
3. 高周波トランス
4. ウィルキンソン分配器
5. ハイブリッド回路
6. カップラ
7. バラン
8. アッテネータ
9. RFスイッチ

## フィルタ設計の基礎

### LPF設計の展開

- 1. HPF
- 1. BPF

### LPF設計法

#### 1. 定K形フィルタ

設計が簡単, 試行錯誤で優れた特性  
解析的に合成が不可能

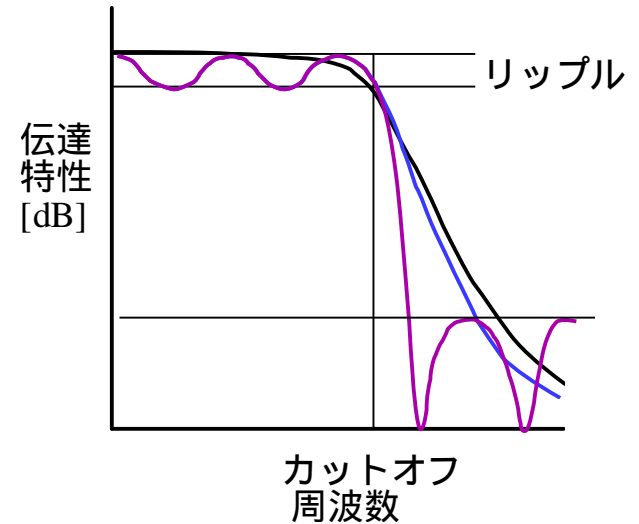
#### 2. 動作関数形フィルタ

バターワース(最平坦)特性  
チェビシェフ特性

解析的に合成可能

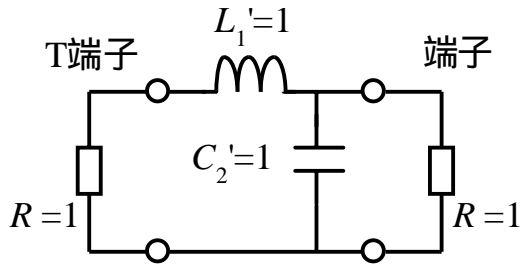
チェビシェフ - チェビシェフ特性(有極フィルタ)

BSPへ応用

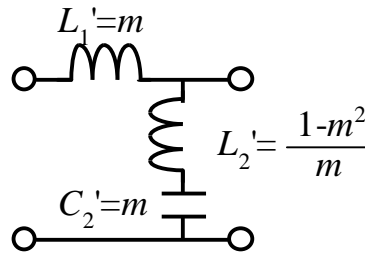


定K形LPF

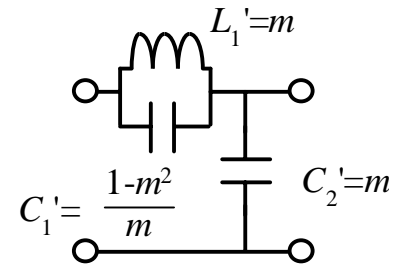
基本L-セクション回路(プロトタイプ)



定K

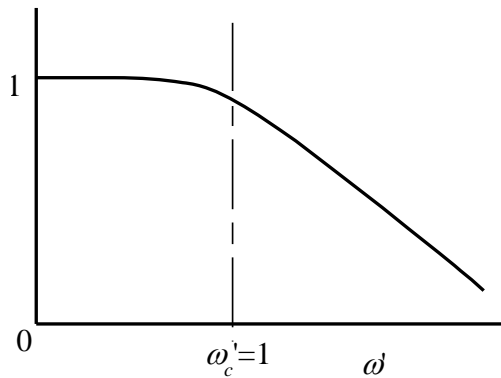


誘導m1

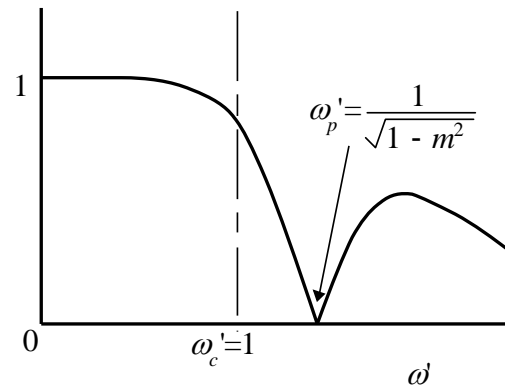


誘導m2

L-セクションの特性



定K



誘導m1,2

# LPF

## 動作関数形LPF 動作関数の実際

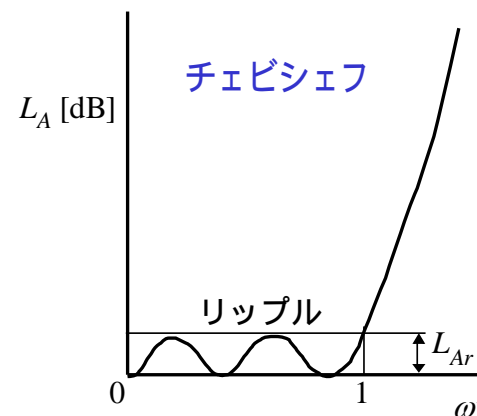
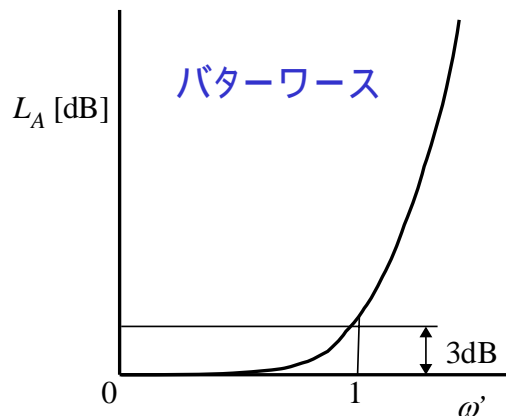
バターワース  $L_A = 10 \log(1 + \varepsilon \omega'^{2n})$

チェビシェフ  $L_A = 10 \log(1 + \varepsilon \cos^2[n \cos^{-1}(\omega')]) \quad \omega' \leq 1$

$$L_A = 10 \log(1 + \varepsilon \cosh^2[n \cosh^{-1}(\omega')]) \quad \omega' \geq 1$$

$$\varepsilon = 10^{\frac{L_{Ar}}{10}} - 1 \quad \text{リップル } L_{Ar}[\text{dB}] \quad \text{フィルタ段数 } n$$

(角)周波数  $\omega'$  , カットオフ(角)周波数  $\omega'_1 = 1$



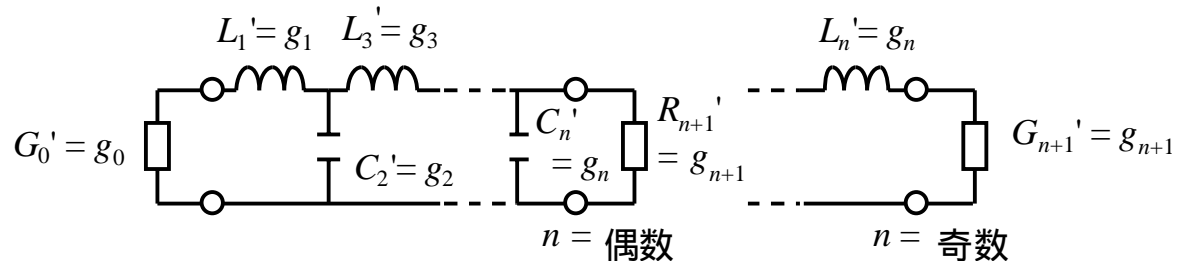
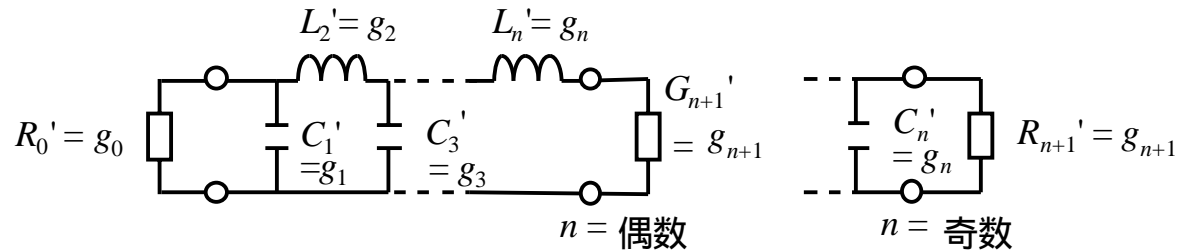
動作関数形LPF

プロトタイプLPF回路

プロトタイプ

カットオフ角周波数 1 rad/s

負荷抵抗 1



バターワースの素子値

$$g_0 = 1$$

$$g_k = 2 \sin \left[ \frac{(2k-1)\pi}{2n} \right], \quad k = 1, 2, \dots, n$$

$$g_{n+1} = 1$$

# スケーリング

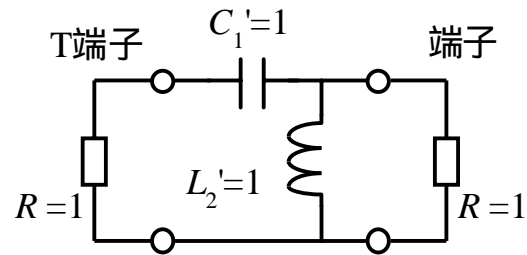
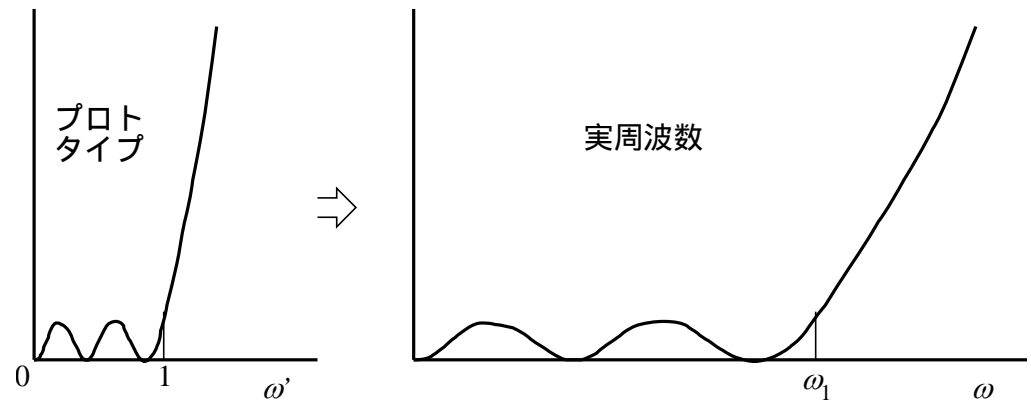
周波数特性

$$\frac{\omega'}{\omega_1'} = \frac{\omega}{\omega_1}$$

$$\omega_1' = 1$$

負荷抵抗:  $R_0$

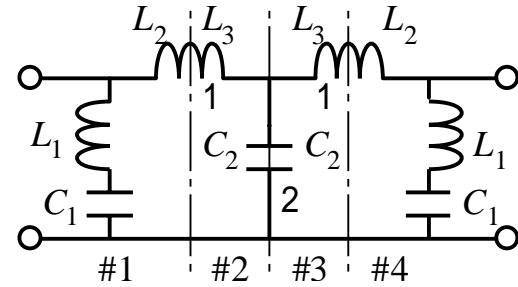
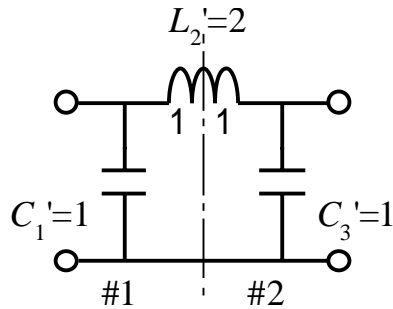
素子値 (周波数を含む)



$$L = \left( \frac{R_0}{R_0'} \right) \left( \frac{\omega_1'}{\omega_1} \right) L' \quad C = \left( \frac{R_0'}{R_0} \right) \left( \frac{\omega_1'}{\omega_1} \right) C' \quad \begin{matrix} \omega_1' = 1 \\ R_0' = 1 \end{matrix}$$



定K形LPFの実際例(スケーリング含む)



定K形

$$L_1 = \frac{R_0}{2\pi f_c}$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi f_c R_0}$$

誘導m1形

$$L_1 = \frac{R_0}{2\pi f_c} m$$

$$L_2 = \frac{R_0}{2\pi f_c} \frac{1-m^2}{m}$$

$$C_2 = \frac{m}{2\pi f_c R_0}$$

トラップ位置

$$m = \sqrt{1 - \left(\frac{f_c}{f_p}\right)^2}$$

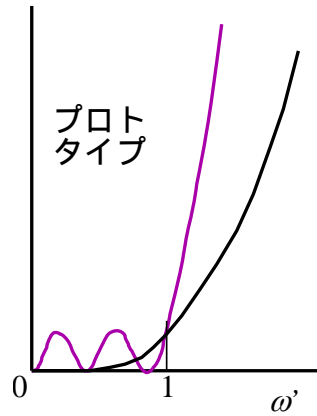
LPF HPFの周波数変換

周波数変換式  $\frac{\omega'}{\omega_1'} = -\frac{\Omega_1'}{\Omega'}$

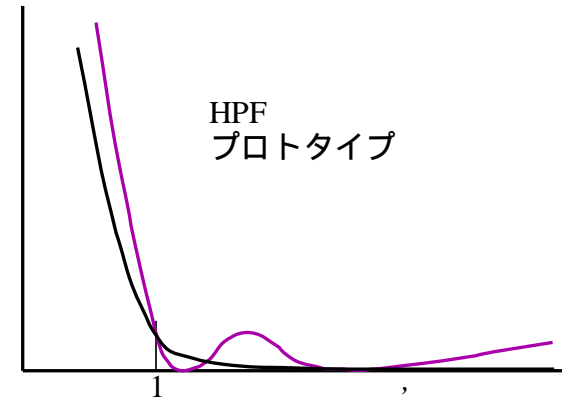
ここで

$(\omega_1' = \Omega_1' = 1)$

$L_A = 10\log(1 + \omega'^{2n})$



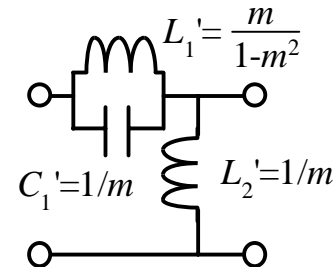
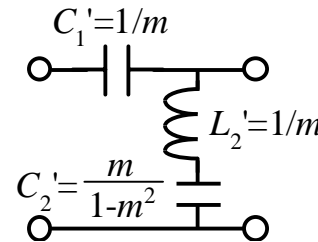
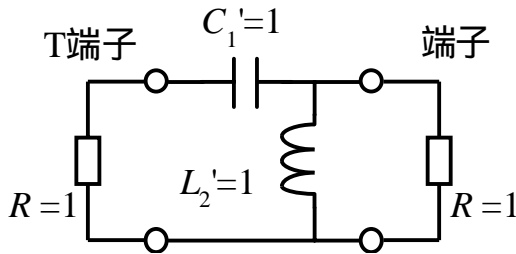
$L_A = 10\log(1 + (\frac{1}{\Omega'} )^{2n})$



素子変換

$j\omega'L' = -j\frac{1}{\Omega'}L' = \frac{1}{j\Omega'(1/L')}$

$j\omega'C' = -j\frac{1}{\Omega'}C' = \frac{1}{j\Omega'(1/C')}$



定K形LPF 定K形HPF

$\Omega_p' = \sqrt{1 - m^2}$

# BPF

## LPF BPFの周波数変換

$$L_A = 10 \log(1 + \varepsilon \cos^2[n \cos^{-1}(\omega')]) \quad \omega' \leq 1$$

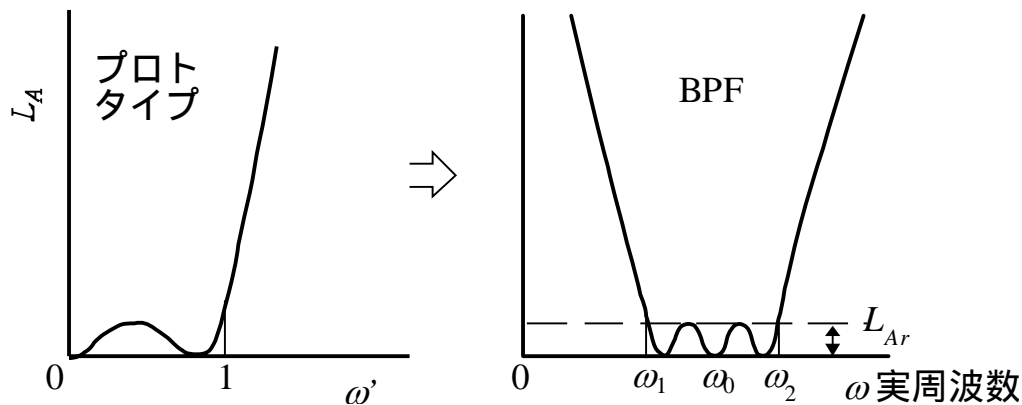
$$L_A = 10 \log(1 + \varepsilon \cosh^2[n \cosh^{-1}(\omega')]) \quad \omega' > 1$$

### 周波数変換式

$$\omega' = \frac{\omega_1'}{w} \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)$$

$$w = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad \omega_0 = \sqrt{\omega_2 \omega_1}$$

$$\omega_1' = 1$$



素子変換

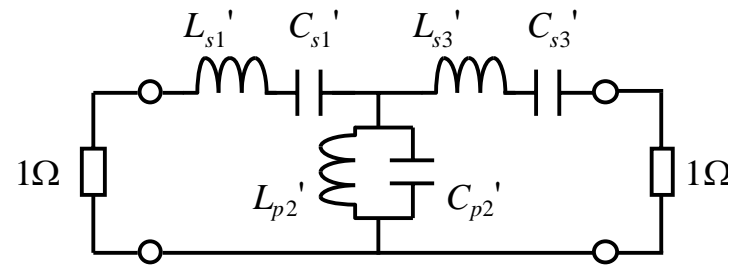
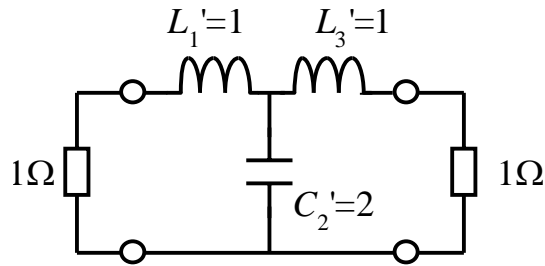
$$j\omega' L' = j\omega L_s' + \frac{1}{j\omega C_s'} \quad L_s' = \frac{\omega_1'}{\omega_2 - \omega_1} L' \quad C_s' = \frac{1}{\omega_1 \omega_2 L_s'} \quad L_s' C_s' = \frac{1}{\omega_0^2}$$

$$j\omega' C' = j\omega C_p' + \frac{1}{j\omega L_p'} \quad C_p' = \frac{\omega_1'}{\omega_2 - \omega_1} C' \quad L_p' = \frac{1}{\omega_1 \omega_2 C_p'} \quad L_p' C_p' = \frac{1}{\omega_0^2}$$

# BPF

## LPF BPF回路

### 回路变换

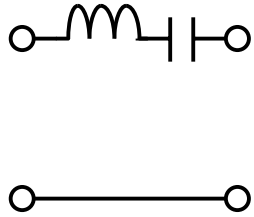


### 負荷抵抗变换

$$L_{s,p} = \frac{R_0}{R'} L_{s,p}' \quad C_{s,p} = \frac{R'}{R_0} C_{s,p}' \quad R' = 1$$

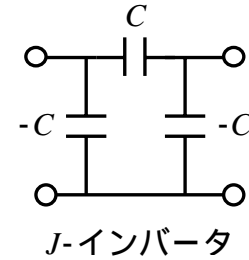
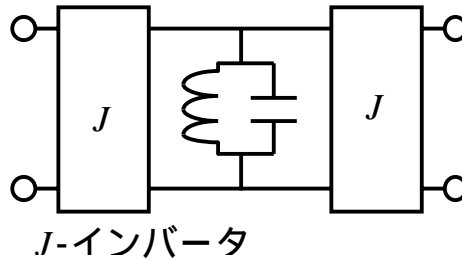
# 共振回路のインバータ変換

シリーズ共振回路

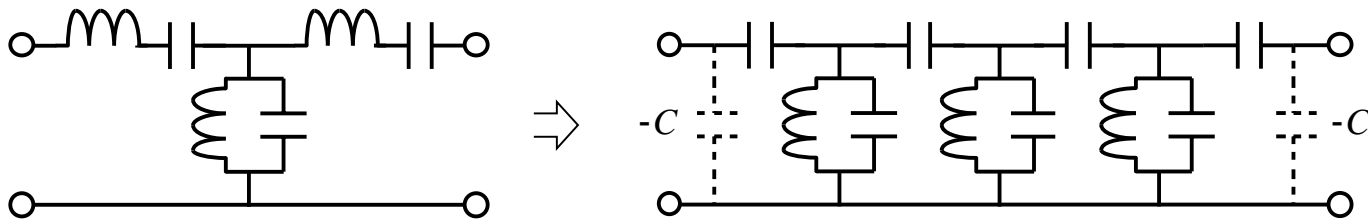


=

シャント共振回路



直並列共振回路BPFからC結合BPFへ

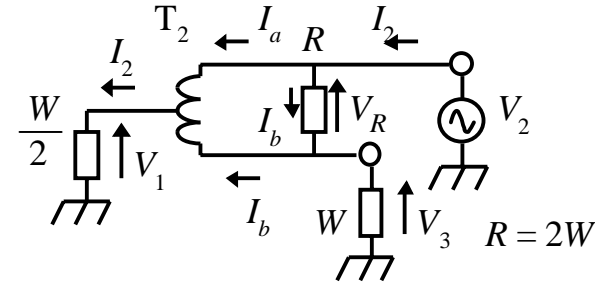
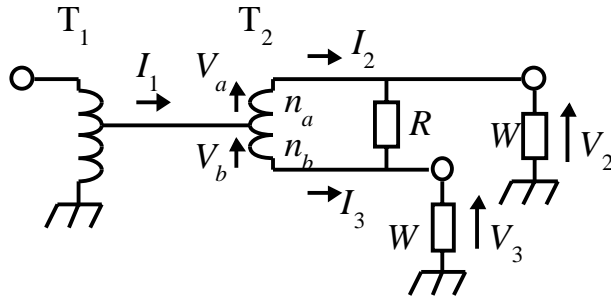


# 高周波トランス

## 2分配回路

$$n_b V_a = n_a V_b$$

$$n_a I_2 = n_b I_3$$



### 分配

$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$V_1 + V_a = V_2 = I_2 W$$

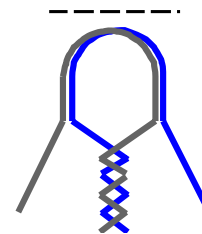
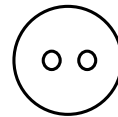
$$V_1 - V_b = V_3 = I_3 W$$

### アイソレーション

$$I_a + I_b = I_2$$

$$V_1 - V_3 = \frac{V_R}{2} = \frac{I_b R}{2}$$

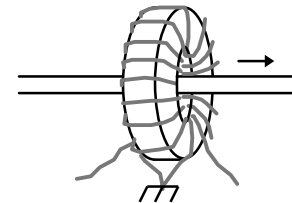
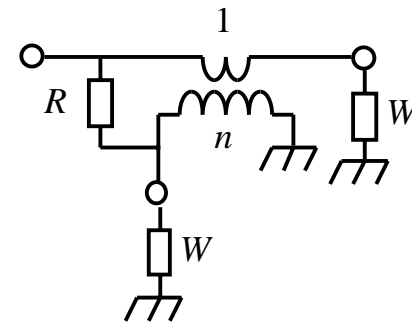
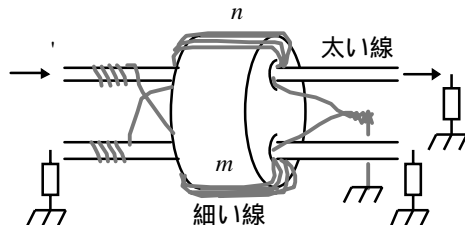
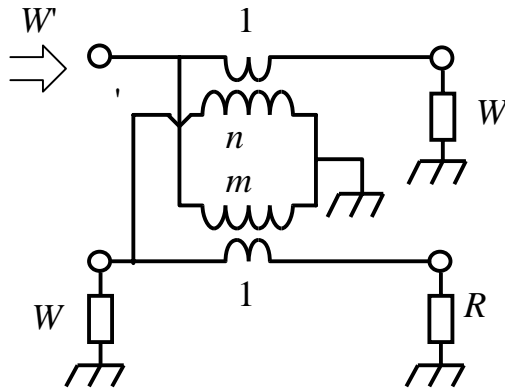
$$V_1 = \frac{W}{2} I_2$$



# 高周波トランス

## 分岐回路(方向性結合器)

2分岐回路



$$L_b = 10 \log(1 + n^2) \quad L = 10 \log \left( \frac{1 + n^2}{n^2} \right)$$

$$n \gg 1$$

$$W' = W \quad R = W \quad m = n$$

$$L_b = 10 \log A$$

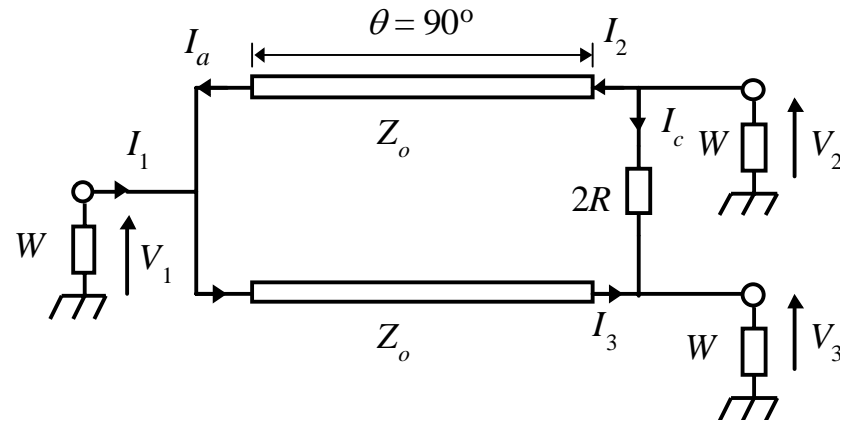
$$n \gg 1$$

$$A = \frac{n^2}{4} \quad L = \frac{n^2}{n^2 - 4} \quad R = nW$$

# ウィルキンソン分配器

## ウィルキンソン2分配

$$\begin{bmatrix} V_2 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & jZ_o \sin \theta \\ j \sin \theta / Z_o & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_a \end{bmatrix}$$



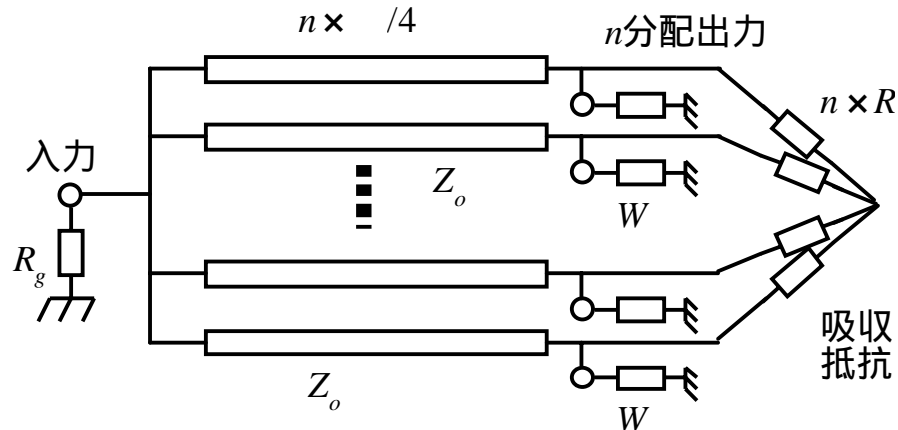
$$I_2 = j \frac{V_1}{Z_o} \quad V_1 = jZ_o I_3 \quad I_3 = \frac{V_3}{W} - I_c \quad V_2 = 2RI_c + V_3 \quad Z_2 = \frac{V_2}{I_2 + I_c} = R$$

$$R = W \quad Z_o = \sqrt{2}W$$

## ウィルキンソンn分配

$$R = W$$

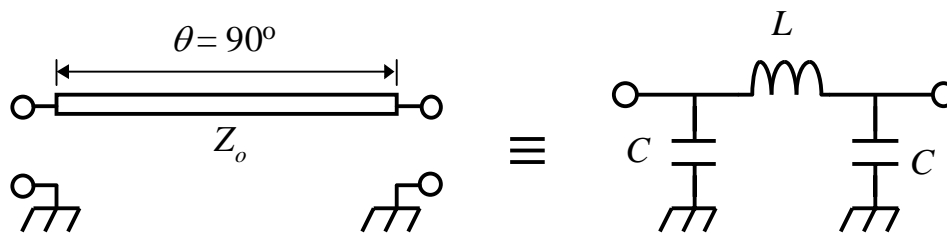
$$Z_o = \sqrt{nR_g W}$$





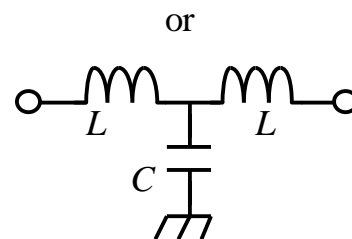
# ウィルキンソン分配器

## 1/4伝送線路の等価回路

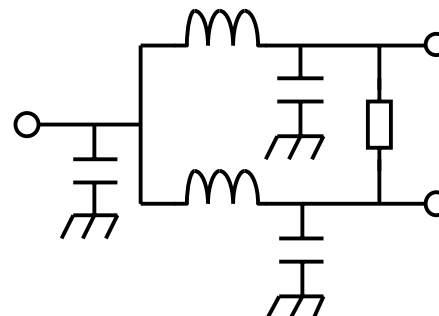
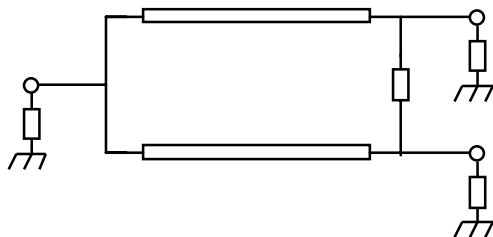


$$L = \frac{Z_o}{\omega}$$

$$C = \frac{1}{\omega Z_o}$$



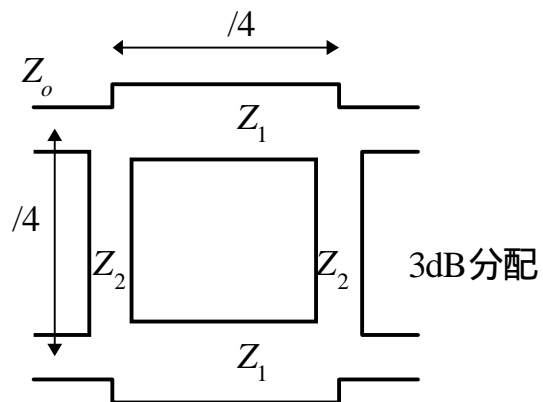
## 集中定数ウィルキンソン2分配



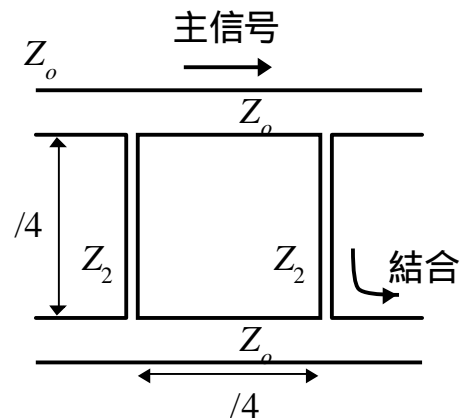
# ハイブリッド回路

## ブランチ回路

3dBハイブリッド



方向性結合ブランチ



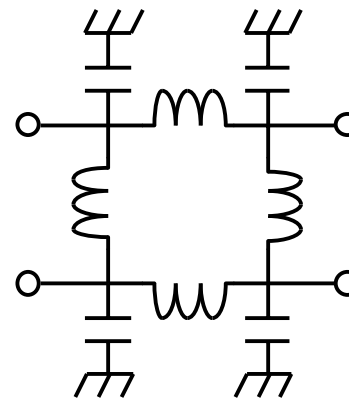
$$C = 10 \log |\beta|^2$$

$$T = 10 \log(1 - |\beta|^2)$$

$$Z_1 = Z_o \sqrt{1 - |\beta|^2}$$

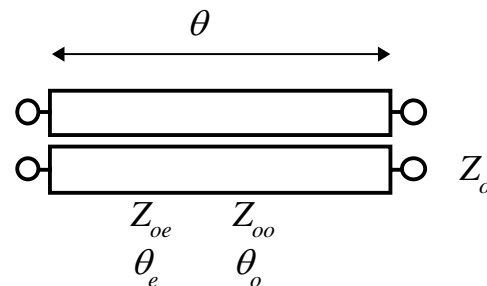
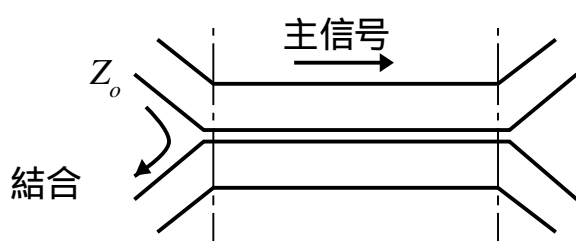
$$Z_2 = Z_o \frac{\sqrt{1 - |\beta|^2}}{\beta}$$

集中定数表現



# カプラ

## 平行結合線路



$$C = 10 \log |\beta|^2$$

カプラの構造

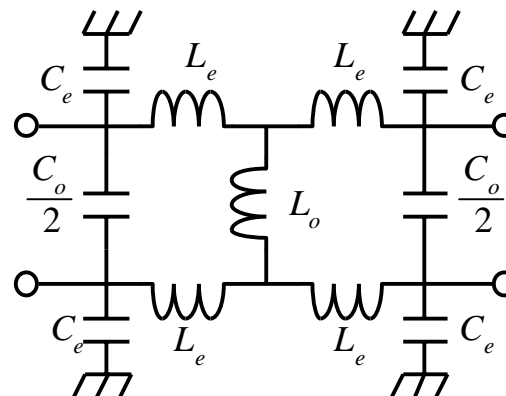
$$T = 10 \log(1 - |\beta|^2)$$

$$\theta_o \approx \theta = 90^\circ \approx \theta_e$$

$$Z_{oe} = Z_o \sqrt{\frac{1 + |\beta|}{1 - |\beta|}}$$

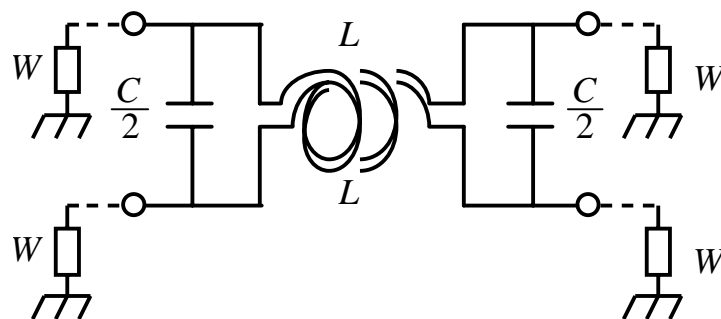
$$Z_{oo} = Z_o \sqrt{\frac{1 - |\beta|}{1 + |\beta|}}$$

平行結合線路の集中定数表現



# カプラ

## 密結合コイル方向性結合器



カプラの構造

$$C = 10 \log |\beta|^2$$

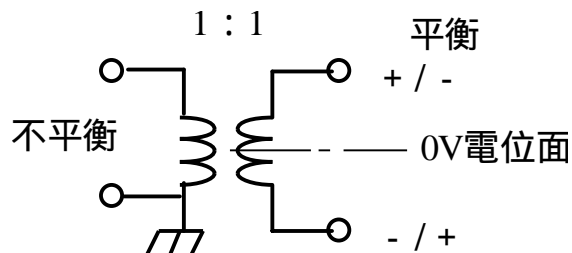
$$T = 10 \log |\alpha|^2$$

$$L \text{ の結合係数 } k = 1 \quad \sqrt{\frac{L}{C}} = W$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + j \frac{\omega L}{W}} \quad \beta = \frac{1}{1 - j \frac{W}{\omega L}} \quad \left( \frac{\omega L}{W} \ll 1 \right)$$

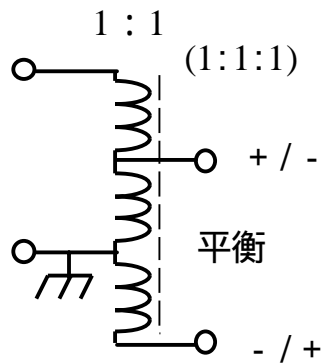
# balan

## 高周波トランス形

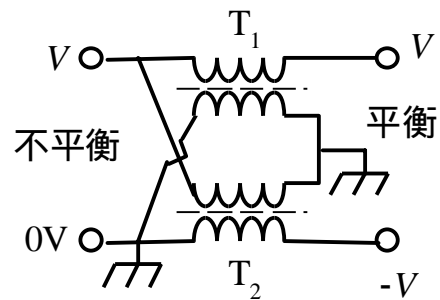
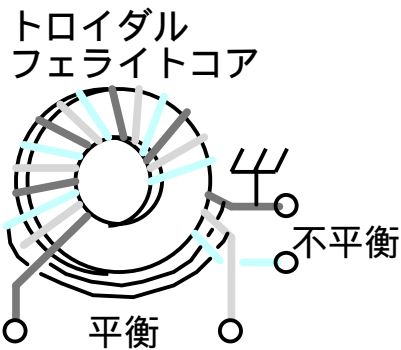


理想トランス balan

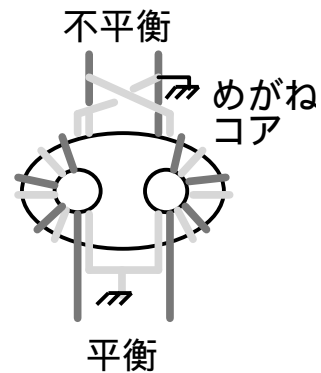
## 实用トランス balan



1:1 balan

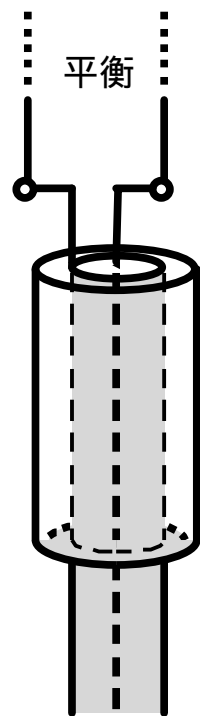


1:4 balan



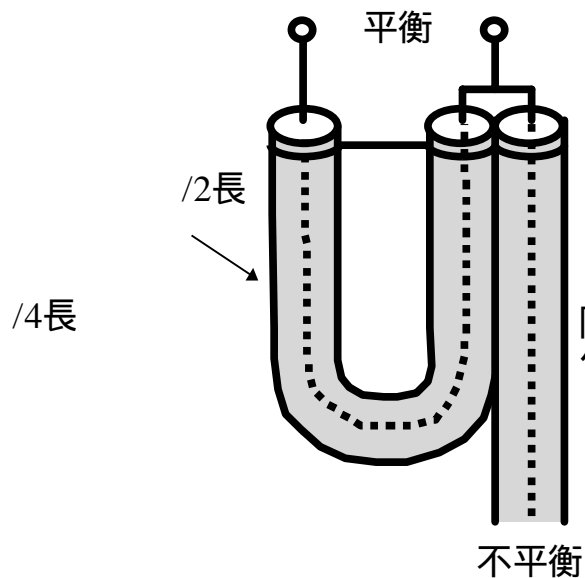
# balan

## 分布定数線路形



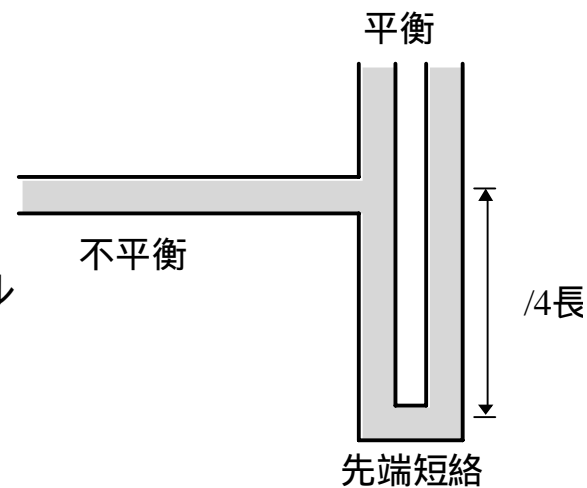
1 : 1

シュペルトップ  
(バズーカ)



1 : 4

U balan

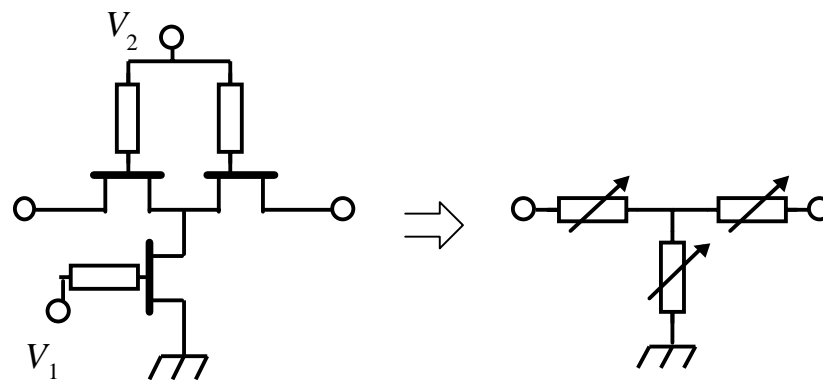
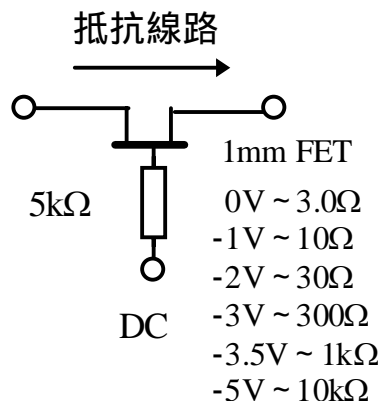


1 : 4

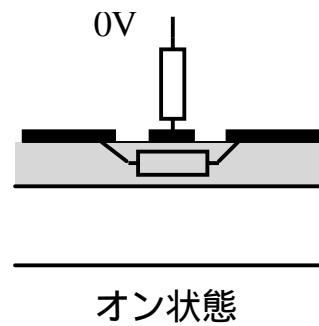
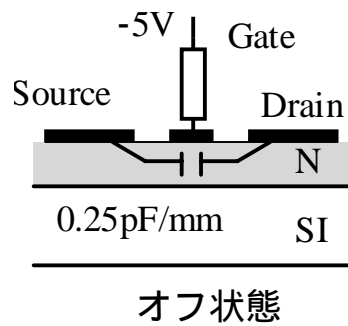
ストリップライン

# アッテネータ

## MES-FET可変アッテネータ



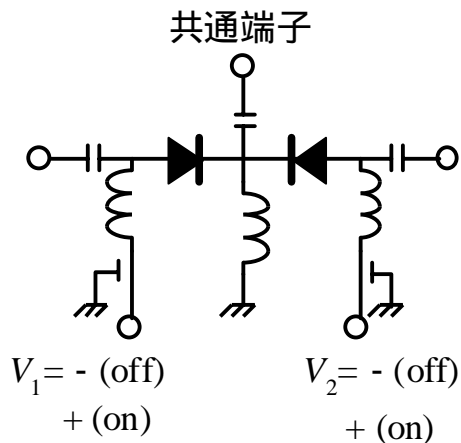
T形アッテネータ回路



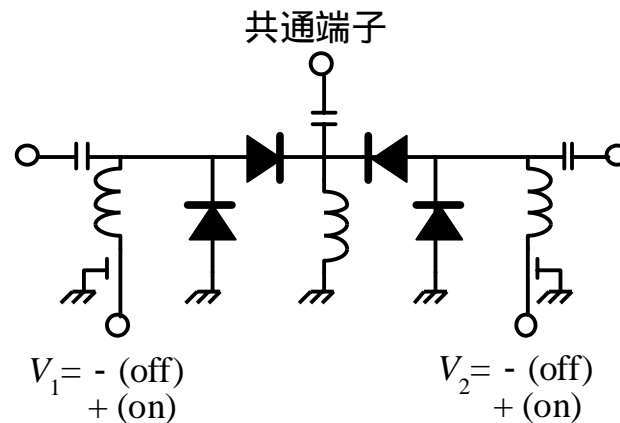
GaAs-FET

# RFスイッチ

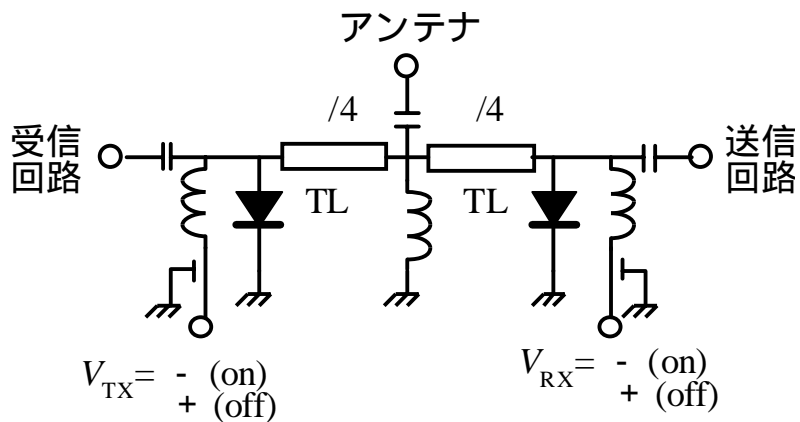
## アクティブ素子SW



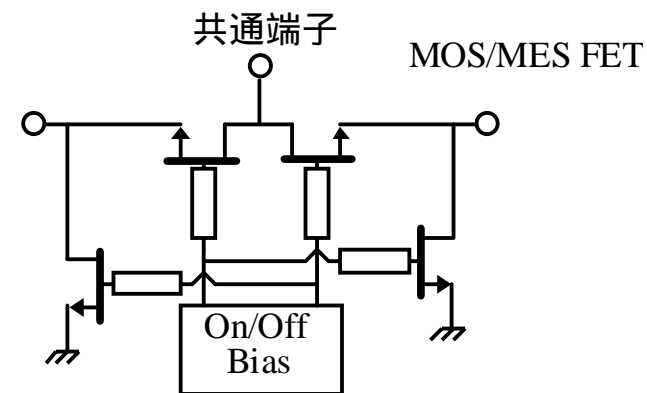
ダイオードSW形



高アイソレーション形



携帯電話SWアンテナ共用器の例

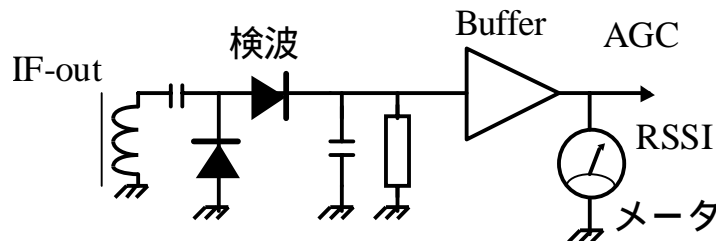


FET - SW

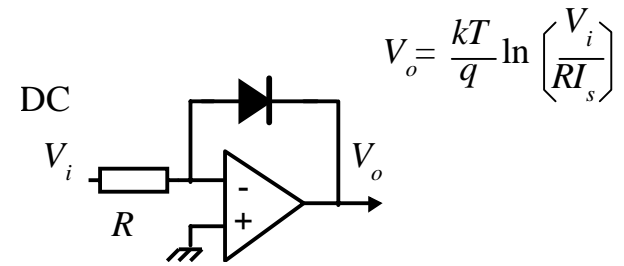


# RSSI

## 簡易回路



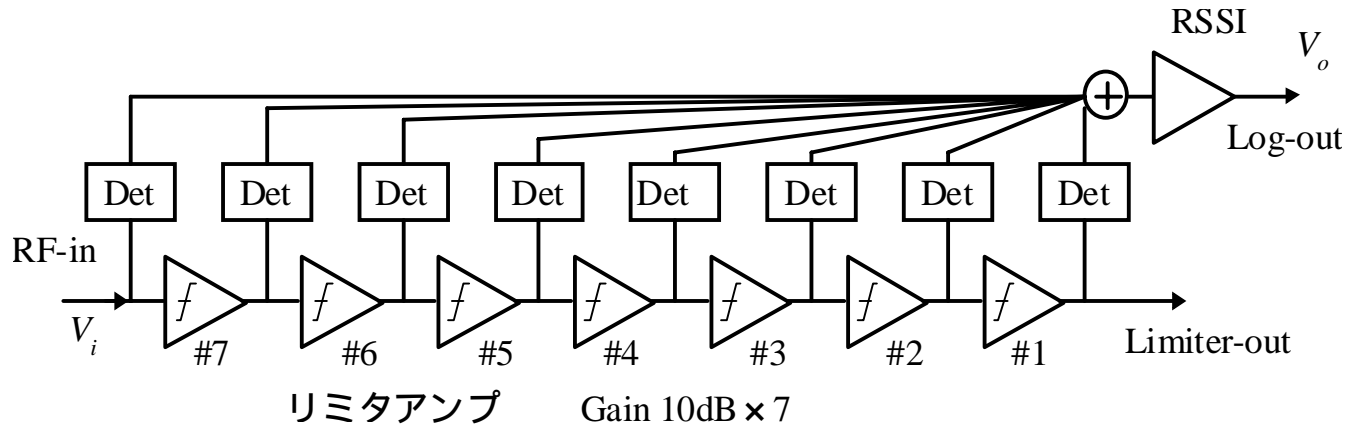
AGC電圧RSSI



ログアンプ変換

# RSSI

## Piecewise-linear approximation



Successive-detection logarithmic amplifier

対数特性

