

# 1 アマ無線工学 重要公式集

## 電気物理

### ■ クーロンの法則

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4 \pi \epsilon_0 r^2} = K \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

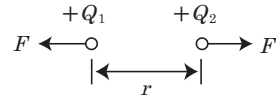
$F$ : 電荷に働く力 [N]

$K$ : 真空 (= 空気) の比例定数

$\epsilon_0$ : 真空の誘電率 [F/m]

$Q_1, Q_2$ : 点電荷の電気量 [C]

$r$ :  $Q_1, Q_2$ 間の距離 [m]



### ■ 磁気に関するクーロンの法則

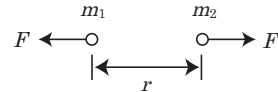
$$F = \frac{m_1 m_2}{4 \pi \mu_0 r^2}$$

$F$ : 二つの磁極間に働く力 [N]

$\mu_0$ : 真空中の透磁率 [H/m]

$m_1, m_2$ : 二つの磁極の強さ [Wb]

$r$ : 二つの磁極間の距離 [m]



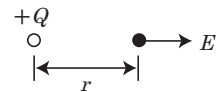
### ■ 電界の強さ $E$ [V/m]

$$E = \frac{Q}{4 \pi \epsilon_0 r^2} = K \frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{Q}{r^2}$$

$Q$ : 点電荷の電気量 [C]

$\epsilon_0$ : 真空の誘電率 [F/m]

$r$ : 点電荷からの距離 [m]



### ■ 均一な電界中の電荷に働く力 $F$ [N]

$$F = QE$$

$F$ : 電荷に働く力 [N]

$Q$ : 点電荷 [C]

$E$ : 電界 [V/m]

■ 均一な電界中の電位差  $V$  [V]

$$V = Er$$

$E$  : 電界 [V/m]

$r$  : 2点間の距離 [m]

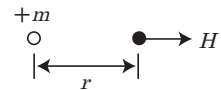
■ 磁界の強さ  $H$  [A/m]

$$H = \frac{m}{4\pi\mu_0 r^2}$$

$\mu_0$  : 真空中の透磁率 [H/m]

$m$  : 磁界の強さ [Wb]

$r$  : 磁極からの距離 [m]



■ 磁束密度  $B$  [Wb/m<sup>2</sup>]

$$B = \frac{m}{4\pi r^2} = \mu_0 H$$

$\mu_0$  : 真空中の透磁率 [H/m]

$m$  : 磁極の強さ [Wb]

$r$  : 磁極からの距離 [m]

$H$  : 磁界の強さ [アンペア毎メートル / m]

■ ビオ・サバールの法則

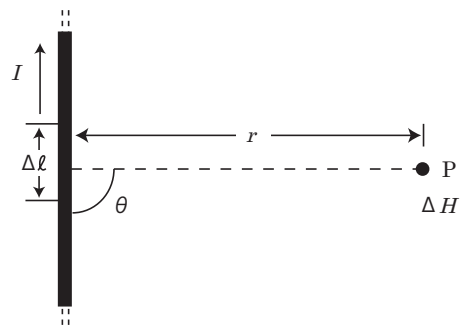
導線の微小部分  $\Delta\ell$  [m] を流れる

電流  $I$  [A] によって  $\Delta\ell$  とする角が  $\theta$  で、

$r$  [m] の距離にある点に生じる磁界  $\Delta H$  [A/m] は、

$$\Delta H = \frac{I\Delta\ell}{4\pi r^2} \times \sin\theta$$

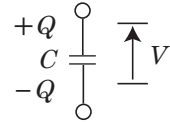
$$\sin 90^\circ = 1 \quad \sin 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}}$$



■ コンデンサに蓄えられる電荷  $Q$  [C]

$$Q = CV$$

$C$ : コンデンサの静電容量 [F] ファラド  
 $V$ : コンデンサに加わる電圧 [V] ボルト

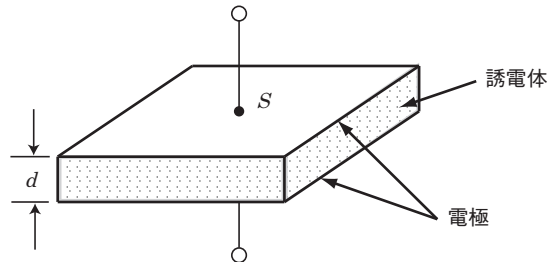


■ コンデンサの静電容量  $C$  [F]

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

$$\epsilon = \epsilon_S \epsilon_0$$

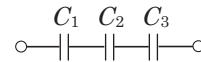
$C$ : コンデンサの静電容量 [F]  
 $d$ : 電極間の距離 [m]  
 $S$ : 電極の面積 [m<sup>2</sup>]  
 $\epsilon$ : 電極間の誘電率 [F/m]  
 $\epsilon_S$ : 誘電体の比誘電率  
 $\epsilon_0$ : 真空中の誘電率 [F/m]



■ コンデンサの直列接続

$$\frac{1}{C_S} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

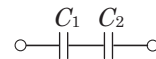
$C_S$ : 合成静電容量 [F]  
 $C_1, C_2, C_3$ : 静電容量 [F]



■ 二つのコンデンサの直列接続

$$C_S = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

$C_S$ : 合成静電容量 [F]  
 $C_1, C_2$ : 静電容量 [F]

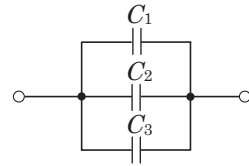


## ■ コンデンサの並列接続

$$C_P = C_1 + C_2 + C_3$$

$C_P$  : 合成静電容量 [F]

$C_1, C_2, C_3$  : 静電容量 [F]



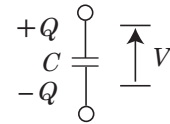
## ■ コンデンサに蓄えられるエネルギー $W$ [J]

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} \times \frac{Q^2}{C}$$

$V$  : コンデンサに加えられる電圧 [V]

$Q$  : コンデンサに蓄えられる電荷の電気量 [C]

$C$  : コンデンサの静電容量 [F]



## ■ 導体の抵抗 $R$ [ $\Omega$ ]

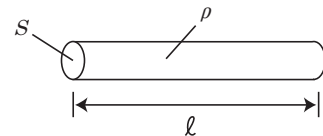
$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$

$R$  : 導体の抵抗 <sup>オーム</sup> [ $\Omega$ ]

$\ell$  : 導体の長さ [m]

$S$  : 導体の断面積 [m<sup>2</sup>]

$\rho$  : 導体の抵抗率 [ $\Omega \cdot m$ ]



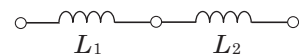
## ■ 二つのコイルの直列接続のときの合成インダクタンス $L$ [H]

二つのコイル間に電磁結合のない場合

$$L = L_1 + L_2$$

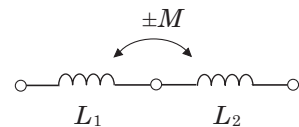
$L$  : コイルの合成インダクタンス <sup>ヘンリー</sup> [H]

$L_1, L_2$  : それぞれのコイルのインダクタンス [H]



二つのコイルの磁束が加わる場合 (和動接続)

$$L = L_1 + L_2 + 2M$$



二つのコイルの磁束が打ち消し合う場合 (差動接続)

$$L = L_1 + L_2 - 2M$$

$L_1, L_2$  : それぞれのコイルのインダクタンス [H]

$M$  :  $L_1, L_2$ 間の相互インダクタンス [H]

■ コイルの間の結合係数  $k$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}$$

$k$  : 二つのコイル間の結合係数

$L_1, L_2$  : それぞれのコイルのインダクタンス [H]

$M$  :  $L_1, L_2$ 間の相互インダクタンス [H]

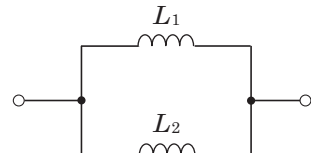
■ 二つのコイルの並列接続のときの合成インダクタンス  $L$  [H]

二つのコイル間に電磁結合のない場合

$$L = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$$

$L$  : コイルの合成インダクタンス [H]

$L_1, L_2$  : それぞれのコイルのインダクタンス [H]



■ 結合用変成器の入力インピーダンス

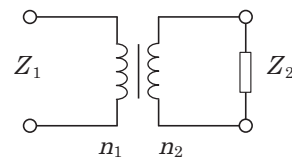
$$Z_1 = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 Z_2$$

$Z_1$  : 一次側のインピーダンス [ $\Omega$ ]

$Z_2$  : 二次側に接続したインピーダンス [ $\Omega$ ]

$n_1$  : 一次側の変成器の巻線の数 [回]

$n_2$  : 二次側の変成器の巻線の数 [回]

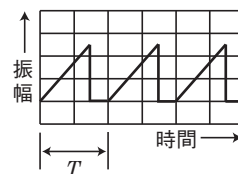


■ パルスの繰り返し周波数  $f$  [Hz]

$$f = \frac{1}{T}$$

$f$  : パルスの繰り返し周波数 <sup>ヘルツ</sup> [Hz]

$T$  : パルスの繰り返し周期 [秒]



# 電気回路

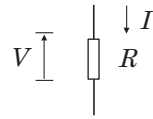
## ■ オームの法則

$$I = \frac{V}{R}$$

$I$  : 電流 [A]

$V$  : 電圧 [V]

$R$  : 抵抗 [Ω]

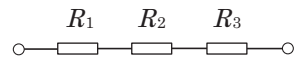


## ■ 抵抗の直列接続

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3$$

$R_S$  : 合成抵抗 [Ω]

$R_1, R_2, R_3$  : 抵抗 [Ω]

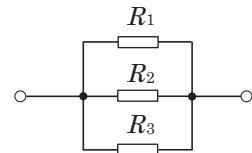


## ■ 抵抗の並列接続

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

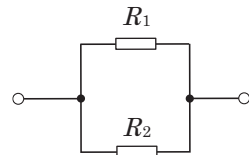
$R_P$  : 合成抵抗 [Ω]

$R_1, R_2, R_3$  : 抵抗 [Ω]



## ■ 二つの抵抗の並列接続

$$R_P = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$



## ■ キルヒホッフの法則

第1法則 (流入電流の和と流出電流の和は等しい)

$$I_1 + I_2 = I_3$$

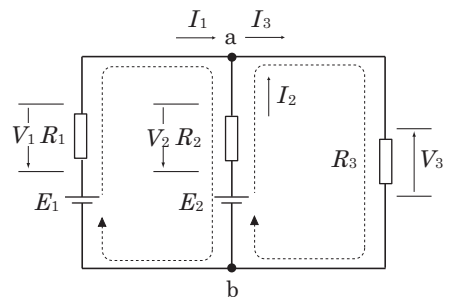
第2法則 (電圧降下の和は起電力の和に等しい)

$$V_1 - V_2 =$$

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 - E_2$$

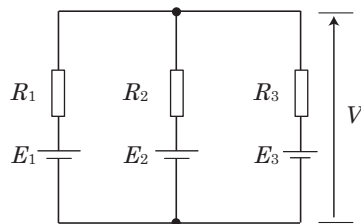
$$V_2 + V_3 =$$

$$R_2 I_2 + R_3 I_3 = E_2$$



■ ミルマンの定理

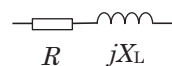
$$V = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \quad [\text{V}]$$



電圧源  $E_1, E_2, E_3$  [V] と抵抗  $R_1, R_2, R_3$  [Ω] の直列回路が並列に接続された回路の端子電圧  $V$  [V]

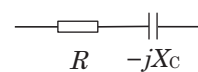
■ 抵抗  $R$  とコイルのリアクタンス  $X_L$  の直列回路の合成インピーダンス  $\dot{Z}$  [Ω]

$$\dot{Z} = R + jX_L \quad \text{その大きさ} \quad \dot{Z} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$



■ 抵抗  $R$  とコンデンサのリアクタンス  $X_C$  の直列回路の合成インピーダンス  $\dot{Z}$  [Ω]

$$\dot{Z} = R - jX_C \quad \text{その大きさ} \quad \dot{Z} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$



$\dot{Z}$  : 直列回路の合成インピーダンス [Ω]

$R$  : 抵抗 [Ω]

$X_L$  : コイルのリアクタンス ( $X_L = \omega L = 2\pi fL$ ) [Ω]

$X_C$  : コイルのリアクタンス ( $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$ ) [Ω]

■ 抵抗  $R$  とコイルのリアクタンス  $X_L$  の並列回路の合成電流  $I$  [A]

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$$

■ 抵抗  $R$  とコンデンサのリアクタンス  $X_C$  の並列回路の合成電流  $I$  [A]

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$I_R$  : 抵抗  $R$  に流れる交流電流 [A]

$I_L$  : コイル  $L$  に流れる交流電流 [A]

$I_C$  : コンデンサ  $C$  に流れる交流電流 [A]

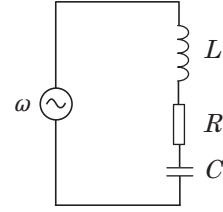
■ 抵抗 $R$ 、コイル $L$ 、コンデンサ $C$ の直列回路の合成インピーダンス $Z$ 〔 $\Omega$ 〕

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$R$  : 抵抗〔 $\Omega$ 〕

$\omega L = 2\pi fL$  : コイルのリアクタンス〔 $\Omega$ 〕

$\frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$  : コンデンサのリアクタンス〔 $\Omega$ 〕



■ 抵抗 $R$ 、コイル $L$ 、コンデンサ $C$ の直列共振回路の共振周波数 $f_r$ 〔Hz〕

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$f_r$  : 共振周波数〔Hz〕

$L$  : コイルのインダクタンス〔H〕

$C$  : コンデンサの静電容量〔F〕

■ コイル $L$ とコンデンサ $C$ の並列共振回路の共振したときのインピーダンス $Z$ 〔 $\Omega$ 〕

$$Z = \frac{L}{Cr} \quad \text{最大となる}$$

共振周波数 $f_r$ 〔Hz〕は、

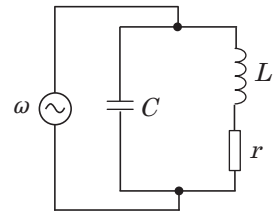
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$f_r$  : 共振周波数〔Hz〕

$r$  : コイルの直列（実効）抵抗〔 $\Omega$ 〕

$L$  : コイルのインダクタンス〔H〕

$C$  : コンデンサの静電容量〔F〕





### ■ 直列共振回路のQ

$$Q = \frac{\omega_r L}{R} \qquad Q = \frac{1}{\omega_r C R}$$

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$\omega_r = 2\pi f_r$  : 共振角周波数 [rad/s]

$R$  : 直列抵抗 [ $\Omega$ ]

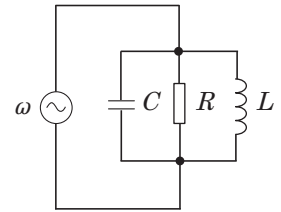
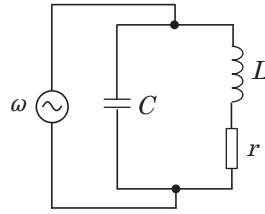
### ■ 並列共振回路のQ

$$Q = \frac{R}{\omega_r L} \qquad Q = \omega_r C R$$

$R$  : 並列抵抗 [ $\Omega$ ]

$$Q = \frac{\omega_r L}{r} \qquad Q = \frac{1}{\omega_r C r}$$

$r$  : コイルの直列 (実効) 抵抗 [ $\Omega$ ]



### ■ 直列共振回路の各部の電圧

$$V_L = V_C = QV$$

$V_L$  : コイルの両端の交流電圧 [V]

$V_C$  : コンデンサの両端の交流電圧 [V]

$Q$  : 回路の良さ

$V$  : 回路に加える交流電圧 [V]

### ■ 誘導結合回路の出力電圧

$$e_2 = \omega M i$$

$e_2$  : 二次コイルの端子の交流出力電圧 [V]

$\omega$  : 一次コイルの端子に加える交流の角周波数 [rad/s]

$M$  : 一次、二次コイル間の相互インダクタンス [H]

$i$  : 一次コイルに流れる交流電流 [A]

### ■ C-R 回路の過渡現象

$$i = \frac{E}{R} e^{-t/T} \quad [\text{A}]$$

$i$  : 時間とともに変化する電流 [A]

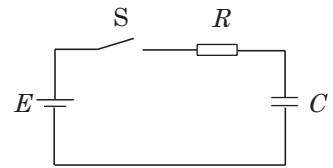
$E$  : 起電力 [V]

$R$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]

$e$  : 自然対数の底 ( $e = 2.718\cdots$ )

$T$  : 時定数 [s] ( $T = CR$ )

$C$  : 静電容量 [F]

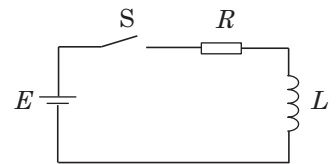


### ■ L-R 回路の過渡現象

$$i = \frac{E}{R} (1 - e^{-t/T}) \quad [\text{A}]$$

$T$  : 時定数 [s] ( $T = \frac{L}{R}$ )

$L$  : インダクタンス [H]



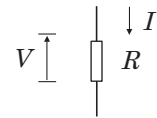
### ■ 電力 $P$ [W]

$$\begin{aligned} P &= VI \\ &= \frac{V^2}{R} \\ &= I^2 R \end{aligned}$$

$V$  : 電圧 [V]

$I$  : 電流 [A]

$R$  : 抵抗 [ $\Omega$ ]



# 電子回路

## ■ エミッタ接地電流増幅率 $\beta$ とベース接地電流増幅率 $\alpha$ との関係

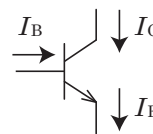
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

## ■ エミッタ接地電流増幅率 $\beta$ ( $=h_{FE}$ )

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$\Delta I_C$  : コレクタ電流の変化分 [A]

$\Delta I_B$  : ベース電流の変化分 [A]



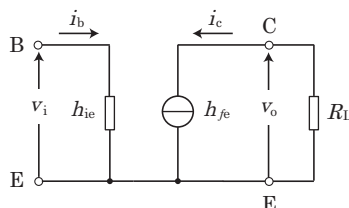
## ■ エミッタ接地増幅器の電圧増幅度 $A$

$$A = - \frac{h_{fe} R_L}{h_{ie}}$$

$h_{ie}$  : 入力インピーダンス [ $\Omega$ ]

$h_{fe}$  : 電流増幅率

$R_L$  : 負荷抵抗 [ $\Omega$ ]



B : ベース  
C : コレクタ  
E : エミッタ  
 $i_b$  : ベース電流  
 $i_c$  : コレクタ電流  
 $v_i$  : 入力電圧  
 $v_o$  : 出力電圧

## ■ エミッタ接地増幅器の電力増幅度 $A_P$

$$A_P = \frac{h_{fe}^2 R_L}{h_{ie}}$$

$h_{ie}$  : 入力インピーダンス [ $\Omega$ ]

$h_{fe}$  : 電流増幅率

$R_L$  : 負荷抵抗 [ $\Omega$ ]

## ■ 低周波増幅器のひずみ率 $K$ [%]

$$K = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100$$

$V_1$  : 基本波の電圧 (実効値) [V]

$V_2$  : 第2高調波の電圧 (実効値) [V]

$V_3$  : 第3高調波の電圧 (実効値) [V]

$V_n$  : 第 $n$ 高調波の電圧 (実効値) [V]

■ 負帰還増幅器の電圧増幅度 $A_F$

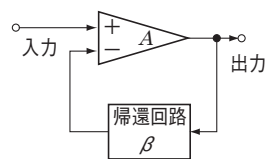
$$A_F = \frac{A}{1 - A\beta}$$

一般に $\beta$ は-の符号を持つので、

$$A_F = \frac{A}{1 + A\beta}$$

$A$  : 負帰還を掛けないときの電圧増幅度

$\beta$  : 帰還率



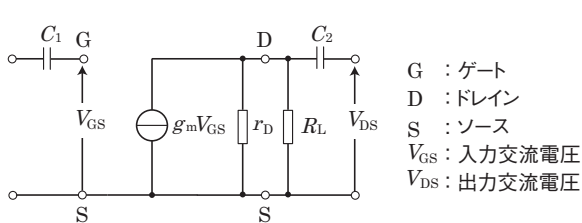
$A$  : 帰還を掛けないときの電圧増幅度  
 $\beta$  : 帰還率

■ FETの相互コンダクタンス $g_m$  [S]

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

$\Delta I_D$  : ドレイン電流の微小変化 [A]

$\Delta V_{GS}$  : ゲート・ソース間の電圧の微小変化 [V]



G : ゲート  
 D : ドレイン  
 S : ソース  
 $V_{GS}$  : 入力交流電圧  
 $V_{DS}$  : 出力交流電圧

■ FETの電圧増幅率  $\mu$

$$\mu = \frac{\Delta V_{DS}}{\Delta V_{GS}}$$

$\Delta V_{DS}$  : ドレイン・ソース間の電圧の微小変化 [V]

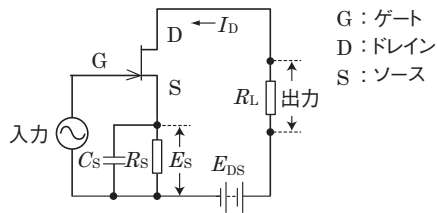
$\Delta V_{GS}$  : ゲート・ソース間の電圧の微小変化 [V]

■ FETのドレイン・コンダクタンス $g_d$  [S]

$$g_d = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{DS}}$$

$\Delta I_D$  : ドレイン電流の微小変化 [A]

$\Delta V_{DS}$  : ドレイン・ソース間の電圧の微小変化 [V]



G : ゲート  
 D : ドレイン  
 S : ソース

■ FETのソース接地増幅回路の電圧増幅度 $A_V$

$$A_V = g_m \frac{r_d R_L}{r_d + R_L}$$

ただし、電圧の向きを考えると-（マイナス）となる。

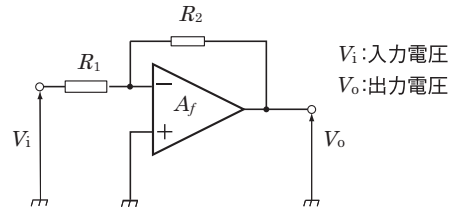
$g_m$  : 相互コンダクタンス [S]

$r_d$  : ドレイン (出力) 抵抗 [ $\Omega$ ]

$R_L$  : 負荷抵抗 [ $\Omega$ ]

■ 反転形電圧増幅器の電圧増幅度 $A_f$

$$A_f = \frac{R_2}{R_1}$$



■ 基本論理回路

$A \text{ --- } \text{NOT} \text{ --- } M \quad M = \bar{A}$ 

A	M
0	1
1	0

$A \text{ --- } \text{AND} \text{ --- } M \quad M = A \cdot B$ 

A	B	M
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

$A \text{ --- } \text{OR} \text{ --- } M \quad M = A + B$ 

A	B	M
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

$A \text{ --- } \text{NAND} \text{ --- } M \quad M = \overline{A \cdot B}$ 

A	B	M
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

$A \text{ --- } \text{NOR} \text{ --- } M \quad M = \overline{A + B}$ 

A	B	M
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

# 送信機

## ■ FM電波の占有周波数帯域幅 $B_n$ 〔Hz〕

$$B_n = 2(f_S + D)$$

$f_S$  : 最高変調周波数〔Hz〕

$D$  : 最大周波数偏移〔Hz〕

## ■ 振幅変調波電圧の実効値 $V_{AM}$ 〔V〕

$$V_{AM} = V_C \sqrt{1 + \frac{m^2}{2}}$$

$V_C$  : 搬送波電圧の実効値〔V〕

$m$  : 変調度

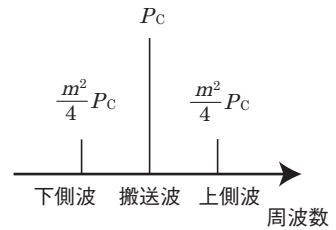
## ■ 振幅変調波の電力 $P_{AM}$ 〔W〕

$$P_{AM} = P_C \left(1 + \frac{m^2}{2}\right)$$

$P_{AM}$  : 振幅変調された振幅変調波の電力〔W〕

$P_C$  : 搬送波電力〔W〕

$m$  : 変調度



## ■ RTTYの通信速度 $b$ (ボー)

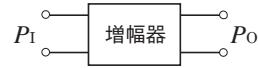
$$b = \frac{1}{\ell}$$

$\ell$  : 1単位の符号の長さ〔秒〕

# 受信機

## ■ 受信機の総合利得 $G$ [dB]

$$G = 10 \log_{10} \frac{P_O}{P_I}$$



$P_O$  : 出力電力 [W]

$P_I$  : 入力電力 [W]

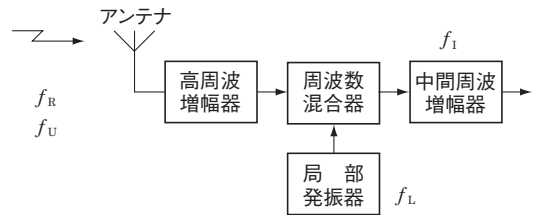
## ■ スーパーヘテロダイン受信機の映像周波数 $f_U$ [Hz]

$f_L > f_R$  の場合 ( $f_I = f_L - f_R$ )

$$f_U = f_R + 2f_I = f_L + f_I$$

$f_L < f_R$  の場合 ( $f_I = f_R - f_L$ )

$$f_U = f_R - 2f_I = f_L - f_I$$



$f_R$  : 受信周波数 [Hz]

$f_I$  : 中間周波数 [Hz]

$f_L$  : 局部発振周波数 [Hz]

## ■ 雑音電力 $P_N$ [W]

$$P_N = kTB$$

$k$  : ボルツマン定数 [J/K]

$T$  : 絶対温度 [K]

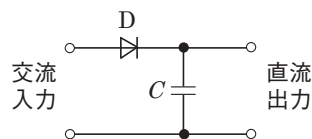
$B$  : 周波数帯域幅 [Hz]

# 電源

## ■ ダイオードに加わる逆電圧 $V_D$ [V]

$$V_D = 2\sqrt{2} \times V_e$$

$V_e$  : ダイオードに加える交流電圧の実効値 [V]



## ■ 変圧器の効率 $\eta$ [%]

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}$$

$P_1$  : 一次側の電力 [W]

$P_2$  : 二次側の電力 [W]

## ■ 整流回路の直流出力（平均値）電圧 $V_a$ [V]

単相半波整流回路

$$V_a = \frac{1}{\pi} V_m$$

単相全波整流回路

$$V_a = \frac{2}{\pi} V_m$$

$V_m$  : 整流出力（脈流）電圧の最大値 [V]

## ■ 整流回路のリプル率 $\gamma$ [%]

$$\gamma = \frac{V_e}{V_a} \times 100$$

$V_e$  : リプル電圧の実効値 [V]

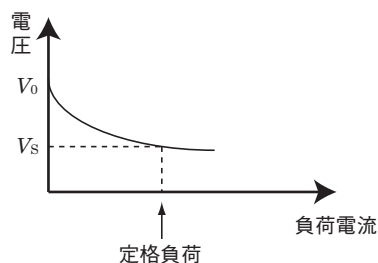
$V_a$  : 出力の平均電圧 [V]

## ■ 電源の電圧変動率 $\delta$ [%]

$$\delta = \frac{V_0 - V_S}{V_S} \times 100$$

$V_0$  : 無負荷時の出力電圧 [V]

$V_S$  : 定格負荷時の出力電圧 [V]





# アンテナ・電波の伝わり方

## ■ アンテナ（空中線）の利得

供試アンテナまたは基準アンテナに異なる電力を加えて、同一場所におけるそれぞれの電界強度を同じにした場合

$$G_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \frac{P_0}{P}$$

$G_{\text{dB}}$ : アンテナの利得 [dB]  
デシベル

$P$ : 供試アンテナに加える電力 [W]

$P_0$ : 基準アンテナに加える電力 [W]

供試アンテナまたは基準アンテナに同一の電力を加えて、同一場所におけるそれぞれの電界強度を比較した場合

$$G_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{E}{E_0}$$

$G_{\text{dB}}$ : アンテナの利得 [dB]

$E$ : 供試アンテナの電界強度 [V/m]

$E_0$ : 基準アンテナの電界強度 [V/m]

## ■ アンテナの固有周波数 $f$ [Hz]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$L$ : アンテナの実効インダクタンス [H]

$C$ : アンテナの実効キャパシタンス [F]

## ■ 電波の波長 $\lambda$ [m] と周波数 $f$ [Hz] の関係

$$\lambda = \frac{3 \times 10^8}{f}$$

周波数  $f$  の単位を MHz とすれば、

$$\lambda = \frac{300}{f[\text{MHz}]}$$

■ 接地形アンテナの長さとの共振する電波の波長の関係

$$\ell = (2n - 1) \times \frac{\lambda}{4}$$

$\ell$  : 接地アンテナの長さ [m]

$\lambda$  : 共振する電波の波長 [m]

$n$  : 1, 2, 3...

---

■ 非接地形アンテナの長さとの共振する電波の波長の関係

$$\ell = \frac{n}{2} \lambda$$

$\ell$  : 非接地アンテナの長さ [m]

$\lambda$  : 共振する電波の波長 [m]

$n$  : 1, 2, 3...

---

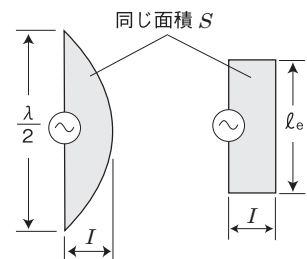
■ 1/4波長接地アンテナの実効高 $h_e$  [m]

$$h_e = \frac{\lambda}{2\pi}$$

---

■ 半波長ダイポールアンテナの実効長 $\ell_e$  [m]

$$\ell_e = \frac{\lambda}{\pi}$$



■ 円形棒形アンテナの実効高 $h_e$  [m]

$$h_e = \frac{2\pi AN}{\lambda}$$

$A$  : 円形の面積 [m<sup>2</sup>]

$N$  : 巻数 [回]

$\lambda$  : 波長 [m]

■ アンテナの放射電力 $P$ 〔W〕<sup>ワット</sup>

$$P = I_a^2 R_r$$

$I_a$  : アンテナ電流〔A〕

$R_r$  : 放射抵抗〔 $\Omega$ 〕

---

■ アンテナの放射効率 $\eta$ <sup>イータ</sup>

$$\eta = \frac{P_r}{P}$$

$P_r$  : アンテナから放射される電力〔W〕

$P$  : アンテナに供給される電力〔W〕

---

■ アンテナ電力 $P$ を $n$ 倍したときの電界強度 $E$ 〔V/m〕

$$E = E_0 \sqrt{n}$$

$E_0$  : アンテナ電力が $P$ のときの電界強度〔V/m〕

---

■ 受信アンテナの誘起電圧 $V$ 〔V〕

$$V = E h_e$$

$E$  : 電界強度〔V/m〕

$h_e$  : アンテナの実効長〔m〕

---

■ 1/4 波長垂直アンテナの電界強度 $E$ 〔V/m〕

$$E = \frac{9.9\sqrt{P}}{d}$$

$P$  : アンテナの放射電力〔W〕

$d$  : アンテナからの距離〔m〕

■ 相対利得  $G_D$  のアンテナの電界強度  $E$  [V/m]

$$E = \frac{7\sqrt{G_D P}}{d}$$

$G_D$  : アンテナの相対利得 [倍]

$P$  : アンテナの放射電力 [W]

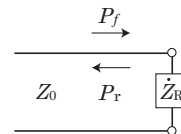
$d$  : アンテナからの距離 [m]

■ アンテナに供給される電力  $P$  [W]

$$P = P_f - P_r$$

$P_f$  : 進行波電力 [W]

$P_r$  : 反射波電力 [W]



■ 定在波比 (SWR)  $S$

$$S = \frac{\sqrt{P_f} + \sqrt{P_r}}{\sqrt{P_f} - \sqrt{P_r}}$$

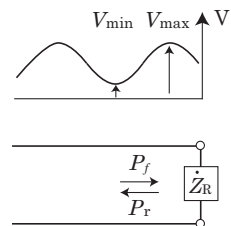
$$S = \frac{V_{\max}}{V_{\min}}$$

$$S = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_f}}}{1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_f}}}$$

$V_{\max}$  : 給電線上の電圧最大点の電圧 [V]

$V_{\min}$  : 給電線上の電圧最小点の電圧 [V]

$\Gamma$  : 電圧反射係数



■ 給電線の特性インピーダンス  $Z_0$  [ $\Omega$ ]

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

$R$  : 給電線1m当たりの抵抗 [ $\Omega$ ]

$C$  : 給電線1m当たりの静電容量 [F]

$L$  : 給電線1m当たりのインダクタンス [H]

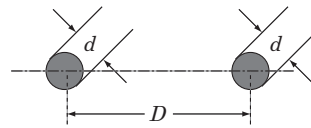
$G$  : 給電線1m当たりのコンダクタンス [S]

■ 平行二線式給電線の特性インピーダンス $Z_0$ 〔 $\Omega$ 〕

$$Z_0 = 277 \log_{10} \frac{2D}{d}$$

$d$  : 給電線の導線の直径〔mm〕

$D$  : 二線間の距離〔mm〕



$D$  : 導線の中心間隔〔mm〕  
 $d$  : 導線の直径〔mm〕

■ 電離層で反射される最高使用可能周波数 (MUF)  $f_M$ 〔MHz〕 (セカント法則)

$$f_M = f_C \sec \theta$$

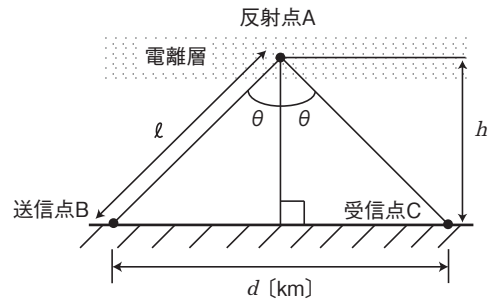
$f_C$  : 電離層の臨界周波数〔MHz〕

$\theta$  : 電波の電離層への入射角〔度〕

$$f_M = f_C \frac{\ell}{h} = f_C \sqrt{1 + \left(\frac{d}{2h}\right)^2}$$

$d$  : 送受信地点間の距離〔km〕

$h$  : 電離層の見かけの高さ〔km〕



■ 平面大地上の電界強度 $E$ 〔V/m〕

$d \gg h_1$ 、 $d \gg h_2$ の条件では、

$$E = E_0 \frac{4\pi h_1 h_2}{\lambda d}$$

$$\doteq \frac{88 h_1 h_2 \sqrt{G_D P}}{\lambda d^2}$$

$E$  : 直接波と反射波の合成電界強度〔V/m〕

$E_0$  : 直接波の電界強度〔V/m〕

$d$  : 送受信地点間の距離〔m〕

$h_1, h_2$  : 送信、受信アンテナの地上高〔m〕

$G_D$  : 相対利得 (真数)

$P$  : 放射電力〔W〕

■ VHF帯の周波数の電波の見通し距離 $d$ 〔km〕

$$d = 4.12 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

$h_1, h_2$  : 送信、受信アンテナの地上高〔m〕

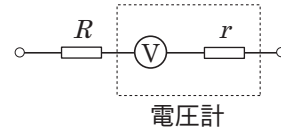
# 測定

## ■ 電圧計の倍率器 $R$ 〔 $\Omega$ 〕

$$R = (N - 1) r$$

$N$  : 測定倍率

$r$  : 電圧計の内部抵抗〔 $\Omega$ 〕

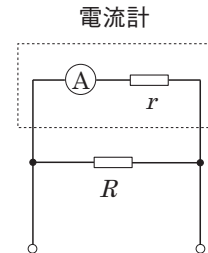


## ■ 電流計の分流器 $R$ 〔 $\Omega$ 〕

$$R = \frac{r}{N - 1}$$

$N$  : 測定倍率

$r$  : 電流計の内部抵抗〔 $\Omega$ 〕



## ■ 振幅変調波の変調率 $M$ 〔%〕

$$M = \frac{b}{a} \times 100$$

$a$  : 搬送波の振幅の最大値〔V〕

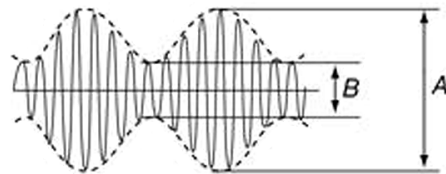
$b$  : 信号波の振幅の最大値〔V〕

出力の波形から求める場合

$$M = \frac{A - B}{A + B} \times 100$$

$A$  : 振幅変調波の最大値

$B$  : 振幅変調波の最小値



## ■ 測定の誤差率 $S$ 〔%〕

$$S = \frac{M - T}{T} \times 100$$

$M$  : 測定値

$T$  : 真値

## ■ 正弦波交流電圧の実効値 $V_e$ 〔V〕

$$V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$V_m$  : 正弦波交流電圧の最大値〔V〕

# 数学の公式集及び数値

## ■ 指数の計算

$$X^m \times X^n = X^{m+n}$$

$$X^m \div X^n = \frac{X^m}{X^n} = X^{m-n}$$

$$\frac{1}{X^n} = X^{-n}$$

$$X^0 = 1$$

## ■ $\sqrt{\quad}$ と $\pi$ の数値

X	1	2	3	5	4	16	10	100
$\sqrt{X}$	1	1.41	1.73	2.24	2	4	3.16	10

$$\pi \doteq 3.14$$

$$\frac{1}{\pi} \doteq 0.318$$

$$\frac{1}{2\pi} \doteq 0.159$$

$$\frac{1}{\sqrt{2}} \doteq 0.707$$

## ■ log

$$\log_{10}(a \times b) = \log_{10}a + \log_{10}b$$

$$\log_{10}a^b = b \times \log_{10}a$$

$$\log_{10} \frac{a}{b} = \log_{10}a - \log_{10}b$$

X	1/2	1	2	3	4	5	10	20	100
$\log_{10}X$	-0.301	0	0.301	0.477	0.602	0.699	1	1.301	2

## ■ デシベル

$$\text{電圧比のデシベル} \quad A_{\text{dB}} = 20\log_{10}A_V \quad [\text{dB}]$$

$$\text{電力比のデシベル} \quad G_{\text{dB}} = 10\log_{10}G \quad [\text{dB}]$$

比	1/2	1	2	3	4	5	10	20	100
電力	-3	0	3	4.8	6	7	10	13	20
電圧	-6	0	6	9.6	12	14	20	26	40

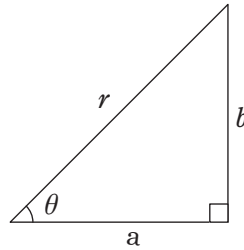
## ■ 三角関数

$$\sin \theta = \frac{b}{r}$$

$$\cos \theta = \frac{a}{r}$$

$$\tan \theta = \frac{b}{a}$$

$$\sec \theta = \frac{1}{\cos \theta} = \frac{r}{a}$$



## ■ 複素数

$$j = \sqrt{-1}$$

$$j^2 = j \times j = -1$$

$$\frac{1}{j} = \frac{j}{j \times j} = \frac{j}{-1} = -j$$

$$\frac{1}{1+j} = \frac{1 \times (1-j)}{(1+j) \times (1-j)} = \frac{1-j}{1^2 - j^2} = \frac{1-j}{1 - (-1)} = \frac{1-j}{2} = \frac{1}{2} - j \frac{1}{2}$$

## ■ 単位の接頭語

名称	テラ	ギガ	メガ	キロ	センチ	ミリ	マイクロ	ピコ
記号	T	G	M	k	c	m	$\mu$	p
数値	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-12}$