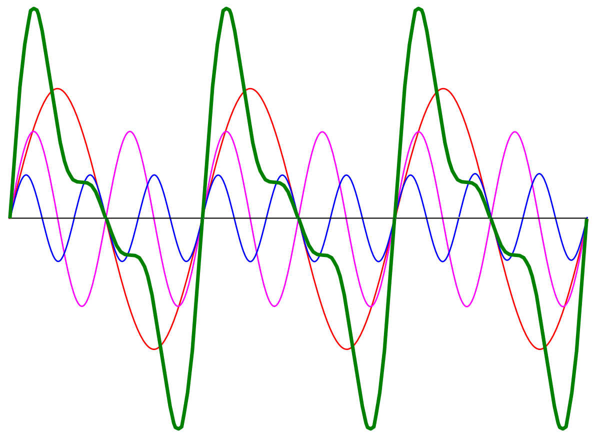
周波数測定

1^{st}. 2005/04/10

L^{st}. 2022/08/17

スペクトラムアナライザ



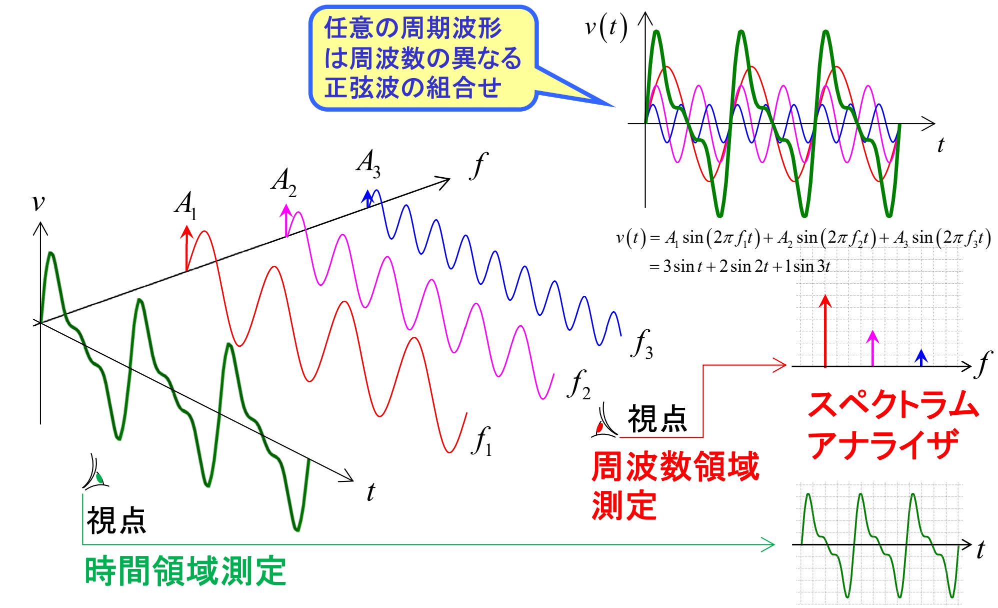
$$v(t) = A_1 \sin(2\pi f_1 t) + A_2 \sin(2\pi f_2 t) + A_3 \sin(2\pi f_3 t)$$

$$= 3\sin t + 2\sin 2t + 1\sin 3t$$

$$v(t) = 3\sin \omega t + 2\sin 2\omega t + 1\sin \omega t$$

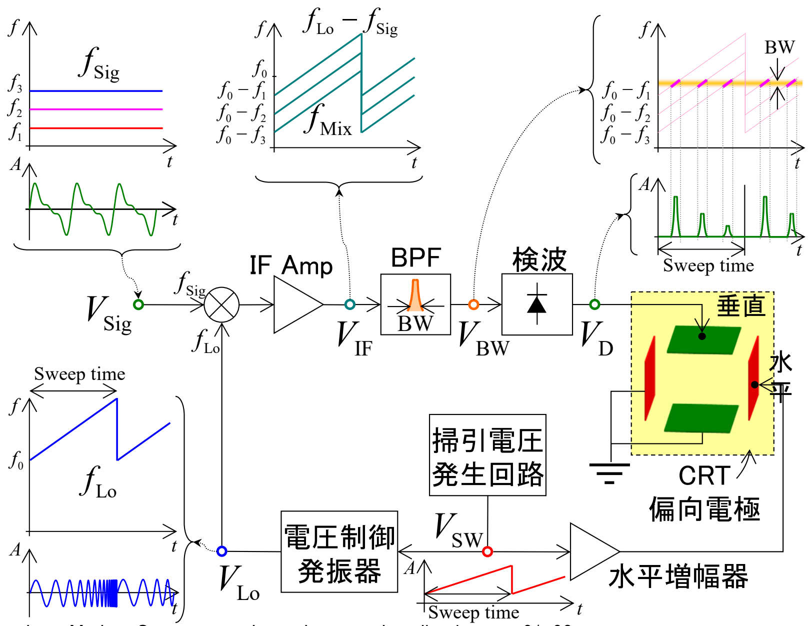
$$v(t) = A_1 \sin \omega_1 t + A_2 \sin \omega_2 t + A_3 \sin \omega_3 t$$

スペアナとオシロの視点の違い



アジレントテクノロジー，計測の基礎セミナ RF/マイクロ波コース スペクトラム・アナライザ、信号発生器の基礎，p.6, 5988-6965JA

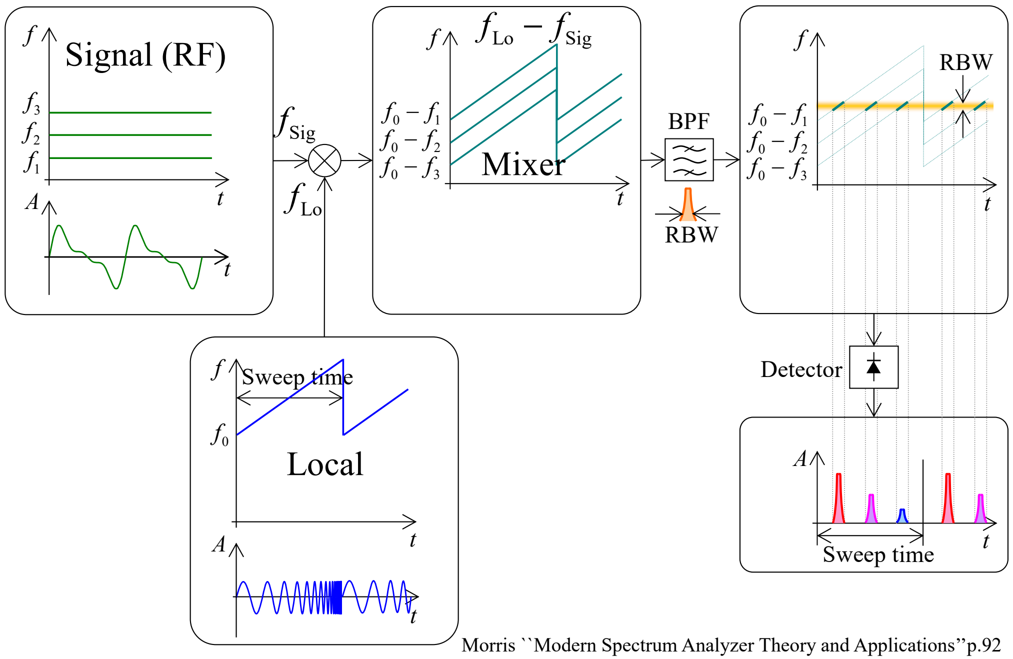
電気スペアナのブロック図



Morris Engelson, Modern Spectrum analyzer theory and applications, pp.91-92,

Robert A. Whitte, Spectrum and Network Measurements 2nd editon, pp.90,

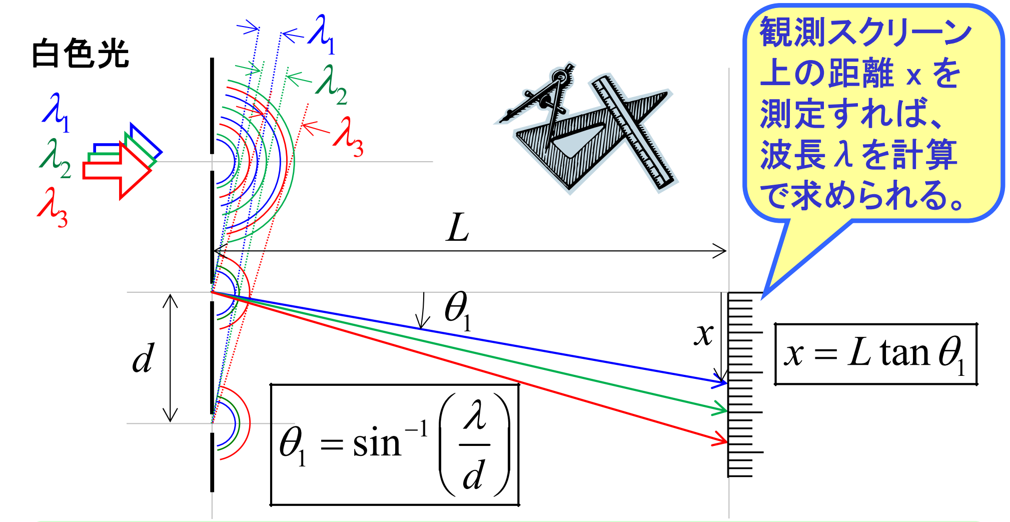
スペクトラムアナライザ



Morris ``Modern Spectrum Analyzer Theory and Applications''p.92

分光器(波長計)への応用

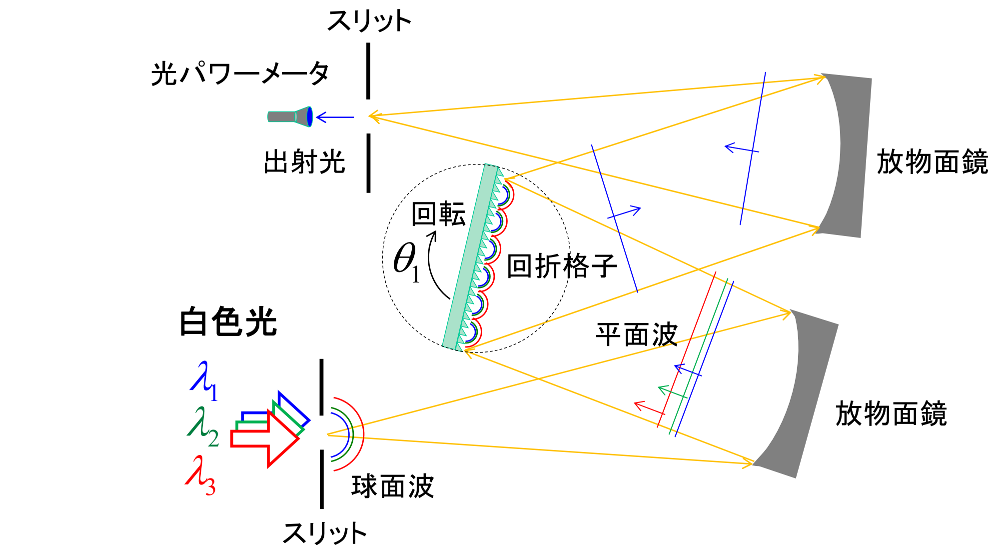
強度が強い1次回折波のみに着目



回折角度：（短波長）$\theta_{1(\lambda 1)} < \theta_{2(\lambda 2)} < \theta_{3(\lambda 3)}$（長波長）

分光器(波長計)への応用

【光スペクトラムアナライザ】



山下　光ファイバ通信のしくみがわかる本, p.277, 技術評論社

ミキサ

$$y_1 = A\sin(\omega_1 t+\theta_1)$$
$$y_2 = B\sin(\omega_2 t+\theta_2)$$

とすると、y_1 と y_2 の積 y_3 は

$$y_3 = AB\sin(\omega_1 t+\theta_1)\sin(\omega_2 t+\theta_2) = AB\sin\alpha\sin\beta$$

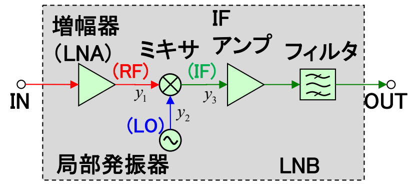
ただし、$\begin{cases}\alpha = \omega_1 t+\theta_1\\ \beta=\omega_2 t+\theta_2\end{cases}$

ここで、三角関数の加法定理より

$$\sin\alpha\sin\beta = \frac{1}{2}\{\cos(\alpha-\beta)-\cos(\alpha+\beta)\}$$

$$y_3 = y_1y_2 = AB\frac{1}{2}\{\cos[(\omega_1 t+\theta_1)-(\omega_2 t+\theta_2)]-\cos[(\omega_1 t+\theta_1)+(\omega_2 t+\theta_2)]\}$$

$$=\frac{AB}{2}\{\cos[(\omega_1-\omega_2)t+(\theta_1-\theta_2)]-\cos[(\omega_1+\omega_2)t+(\theta_1+\theta_2)]\}$$



例）

f_1=11.70 GHz (RF), f_2=10.75 GHz (LO) } f_3= 950 MHz (IF)

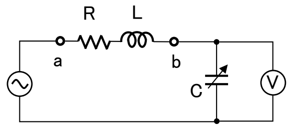
f_1=12.20 GHz (RF), f_2=10.75 GHz (LO) } f_3=1450 MHz (IF)

出力 y_3 に入力 y_1 とローカル y_2 の差の周波数が現れる。
即ち、$f_3=f_1-f_2$ が成り立つ。

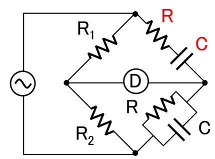
問. 周波数をダウンコンバートするメリットを回路寸法と波長の観点から説明せよ。

周波数測定1

【演習】次の回路の発振周波数を求めよ。ただし，(a)で電圧計の振れは最大であり、L=1 mH, C=50 pFとする。また、(b)では検流計の振れはゼロを指示しており、R=10 kΩ, C=100 pF とする。



(a) Qメータ法



(b) ウィーンブリッジ法

(a)の回路で、L=1 mH, C=50 pF のとき

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

虚部をゼロとおいて、

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{1\times10^{-3}\times50\times10^{-12}}} = 711.76\ \mathrm{kHz}$$

(b)の回路で、R=10 kΩ, C=100 pF のとき

$$R_1\left(\frac{R}{1+j\omega CR}\right) = R_2\left(\frac{1+j\omega CR}{j\omega C}\right)$$

$$R_2\left(1+j\omega CR\right)^2 = j\omega CR_1R$$

$$R_2\left(1+j2\omega CR-(\omega CR)^2\right) = j\omega CR_1R$$

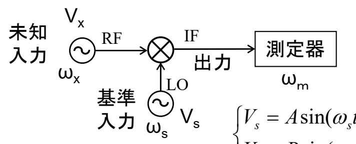
$$R_2\left(1-(\omega CR)^2\right) + j2\omega CRR_2 = j\omega CR_1R$$

より、実部ゼロとおいて

$$f_0 = \frac{1}{2\pi CR} = \frac{1}{2\pi\times100\times10^{-12}\times10\times10^3} = 159.154\ \mathrm{kHz}$$

周波数測定2

【演習】次の回路はヘテロダイン方式と呼ばれる周波数変換回路である。(1) この回路の出力周波数 は、基準信号と入力信号の和の周波数（ωx+ωs）および差の周波数（$\omega_x - \omega_s$）に変換されることを示せ。



$$\begin{cases} V_s = A\sin(\omega_s t + \varphi_s) \\ V_x = B\sin(\omega_x t + \varphi_x) \end{cases}$$

$y_1 = A\sin(\omega_1 t + \theta_1),\ y_2 = B\sin(\omega_2 t + \theta_2)$

$y_1 y_2 = AB\sin(\omega_1 t + \theta_1)\sin(\omega_2 t + \theta_2)$

三角関数の加法定理より、

$$\sin\alpha\sin\beta = \frac{1}{2}\{\cos(\alpha-\beta) - \cos(\alpha+\beta)\}$$

ここで、

$$\begin{cases} \alpha = \omega_1 t + \theta_1 \\ \beta = \omega_2 t + \theta_2 \end{cases}$$

とおくと、

$$y_1 y_2 = AB\frac{1}{2}\left\{\cos\left(\underbrace{(\omega_1 t+\theta_1)}_{\alpha} - \underbrace{(\omega_2 t+\theta_2)}_{\beta}\right) - \cos\left(\underbrace{(\omega_1 t+\theta_1)}_{\alpha} + \underbrace{(\omega_2 t+\theta_2)}_{\beta}\right)\right\}$$

$$= \frac{AB}{2}\left[\cos\{(\omega_1-\omega_2)t + (\theta_1-\theta_2)\} - \cos\{(\omega_1+\omega_2)t + (\theta_1+\theta_2)\}\right]$$

(2) 基準周波数 f_s=10.75 GHz のとき、
測定器で観測された周波数が
f_m=20 MHz であった。
入力された周波数 f_x を求めよ。

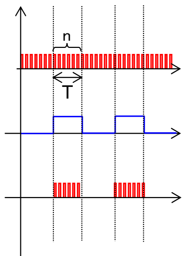
N段の縦属接続にすれば、計測できるパルス数は2^N-1

$2^8-1=255, 2^9-1=511$ より9段

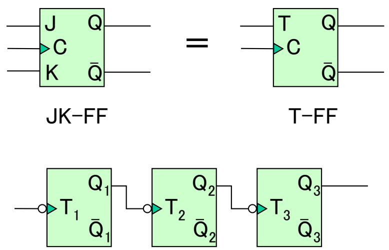
$$f = \frac{241}{10\mathrm{ms}} = 24100$$

$$101 \equiv 1\times2^3 + 0\times2^2 + 1\times2^1 = 5$$

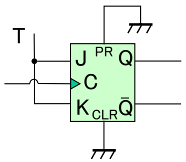
周波数カウンタ



f=n/T



PR,CLR端子は誤作動を防ぐため接地しておく

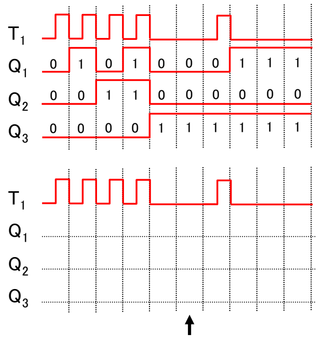


N段の縦属接続にすれば、計測できるパルス数は2^N-1

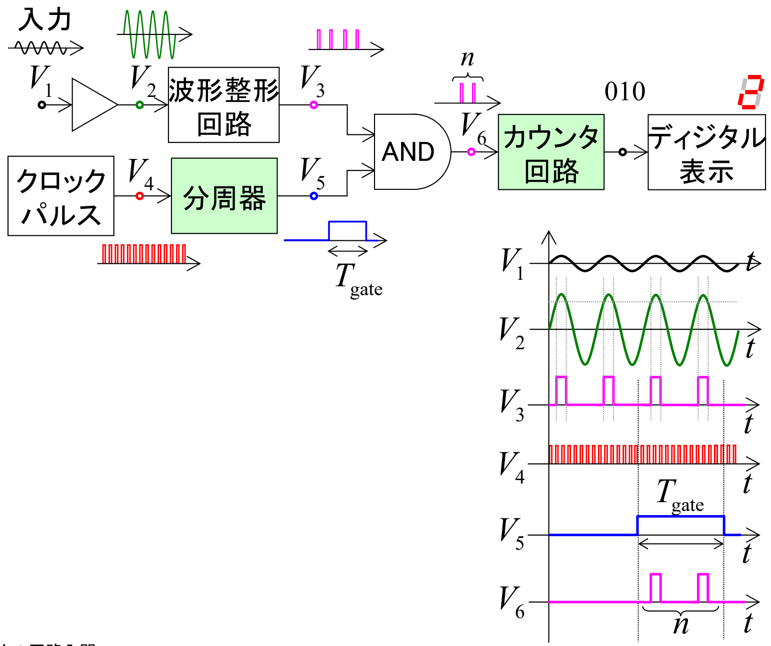
$2^8-1=255, 2^9-1=511$ より9段

$$f = \frac{241}{10\mathrm{ms}} = 24100$$

$$101 \equiv 1\times2^3 + 0\times2^2 + 1\times2^1 = 5$$

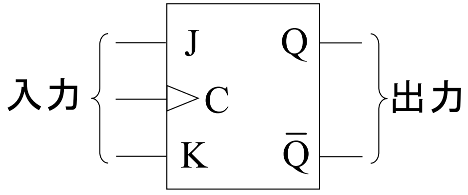


周波数カウンタ

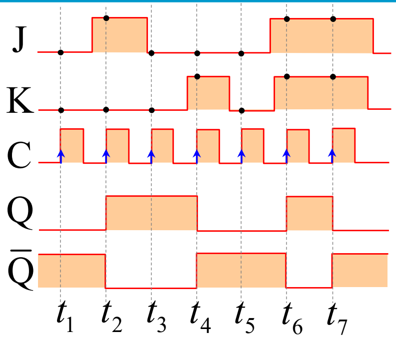


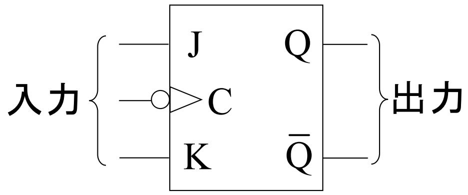
p.96 堀 ディジタル回路入門

周波数カウンタ

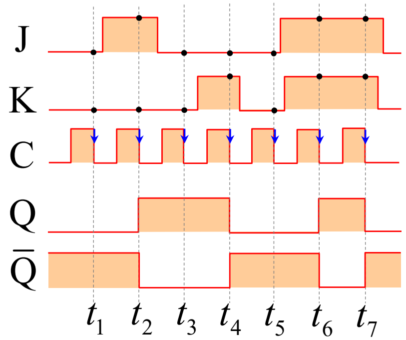


ポジティブエッジ形JK-FF





ネガティブエッジ形JK-FF



周波数カウンタ

JK-FF の性質

C にネガティブエッジが現れたとき、

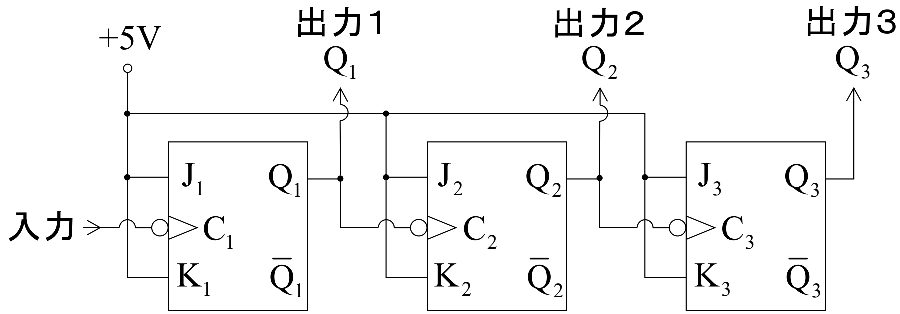
(1) J, K ともに L ⇒ 出力 Q は変化なし。

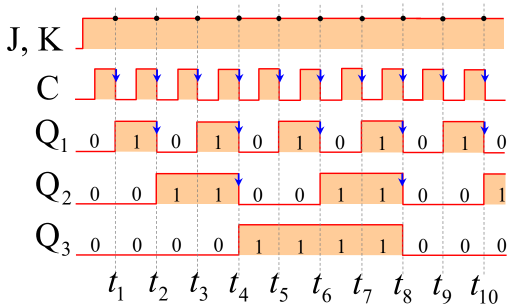
(2) J 入力が H ⇒ 出力 Q が H となる。

(3) K 入力が H ⇒ 出力 Q が L となる。

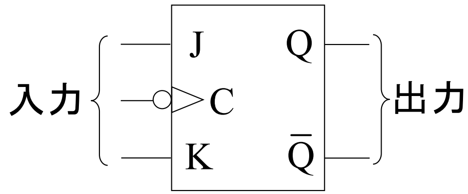
(4) J, K ともに H ⇒ 出力 Q が反転する。

周波数カウンタ

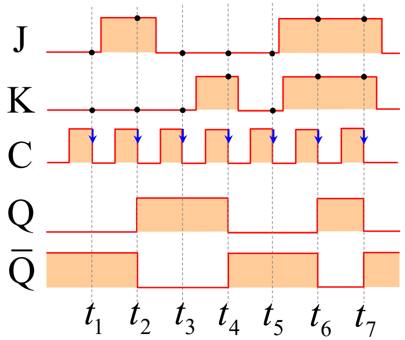


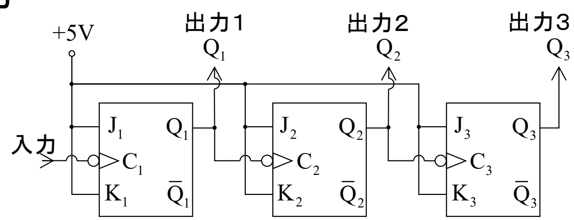


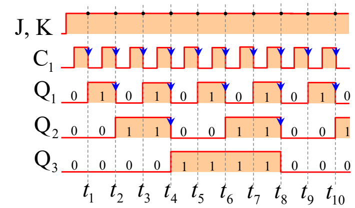
周波数カウンタ



ネガティブエッジ形JK-FF







$Q_3 \times 2^2 + Q_2 \times 2^1 + Q_1 \times 2^0$