

## 第 32 回 午後 問 52

だれが問題を考えたのか、難しい問題ですね。

右の図で 10kΩ が無ければ積分回路になるので、一般的な RC 積分回路と比較しながら問題を見ていきます。

図 2 の回路では、時定数  $\tau = CR$ 、コンデンサの両端電圧  $V_C$  は電圧の分圧則により次式で与えられます。

$$V_o = \frac{1/j\omega C}{R+1/j\omega C} = \frac{1}{1+j\omega CR} V_i \quad G = \frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1}{1+j\omega CR} \quad (1)$$

図 1 の回路で 10kΩ と C が並列になっている部分を Z2 と考え利得の式を求めます。ここで 5kΩ は Z1 と表記します。

$$G = -\frac{Z2}{Z1} = -\frac{1}{R1} \cdot \frac{R2 \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R2 + 1/j\omega C} = -\frac{1}{R1} \cdot \frac{R2}{1 + j\omega CR2} \quad \dots (2)$$

この 2 つの式を使って、代表的な角周波数における、 $V_o/V_{in}$  の振幅と位相を見ていきます。

[振幅 (利得: 真数) と位相 (°)]

<オペアンプ>  $\omega = 0, 1/\tau, \infty$  の時

(2)式より、それぞれ以下の様になります。ここでは  $\tau = CR2$  としている。

$$G(\omega = 0) = \frac{-R2}{R1} = \frac{R2 \angle 180^\circ}{R1 \angle 0^\circ} = \left| \frac{R2}{R1} \right| \angle 180^\circ, \quad G(1/\tau) = \frac{-R2}{R1} \cdot \frac{1}{1+j} = \frac{R2 \angle 180^\circ}{\sqrt{2} R1 \angle 45^\circ} = \left| \frac{R2}{\sqrt{2} R1} \right| \angle 135^\circ$$

$$G(\infty) = \frac{-R2}{R1} \cdot \frac{1}{1+j\infty} = \frac{R2 \angle 180^\circ}{R1 \angle 0^\circ \cdot \infty \angle 90^\circ} = |0| \angle 90^\circ$$

(1)式より、同様に CR 回路の振幅、位相を求める。

$$G(\omega = 0) = \frac{1}{1+j0} = \frac{1 \angle 0^\circ}{1 \angle 0^\circ} = |1| \angle 0^\circ, \quad G(1/\tau) = \frac{1}{1+j} = \frac{1 \angle 0^\circ}{\sqrt{2} \angle 45^\circ} = \left| \frac{1}{\sqrt{2}} \right| \angle -45^\circ,$$

$$G(\infty) = \frac{1}{1+j\infty} = \frac{1 \angle 0^\circ}{\infty \angle 90^\circ} = |0| \angle -90^\circ$$

以上を表にまとめる (表 1)。

表 1

角周波数	振幅[真値]			角周波数	位相[°]		
	$\omega = 0$	$\omega = 1/\tau$	$\omega = \infty$		$\omega = 0$	$\omega = 1/\tau$	$\omega = \infty$
オペアンプ	$R2/R1$	$R2/(\sqrt{2} R1)$	0	オペアンプ	180	135	90
CR 回路	1	$1/\sqrt{2}$	0	CR 回路	0	-45	-90

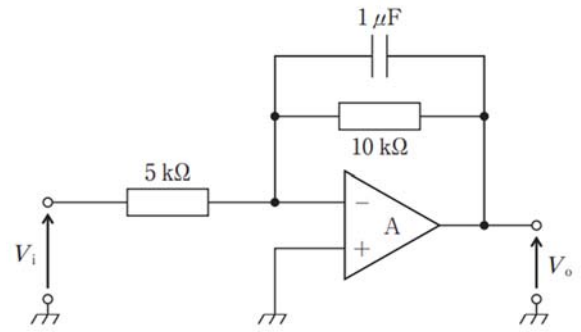


図 1

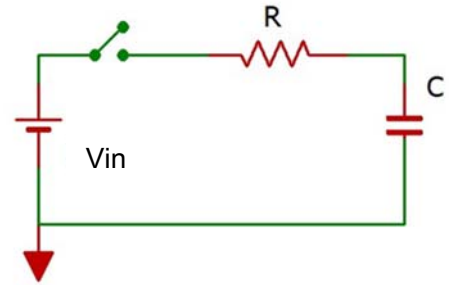


図 2

ここで問題の解答欄を見て行く。

- a. 時定数の定義を  $\omega = 0$  の時の位相から  $45^\circ$ 下がった時の角周波数の逆数 ( $\omega = 1/\tau$ ) とするならば、この回路では上の解析で見て来たように  $\tau = CR_2$  となり、 [正しい]。
- b. 通過帯域は DC からカットオフの手前までとすると、増幅度は  $R_2/R_1$  なので 6dB [誤り]
- c. 位相差 ( $V_o/V_{in}$  の位相) は表 1 に示すとおり  $135^\circ$  [誤り]
- d. 入力インピーダンスは  $R_1$  [誤り]
- e. 充分高い周波数では  $C$  と  $R_2$  の関係は  $C$  が支配的 (ほとんど  $0\ \Omega$ ) になるので、積分回路になる [正しい]

回路シミュレータにより動作解析した図を示す。

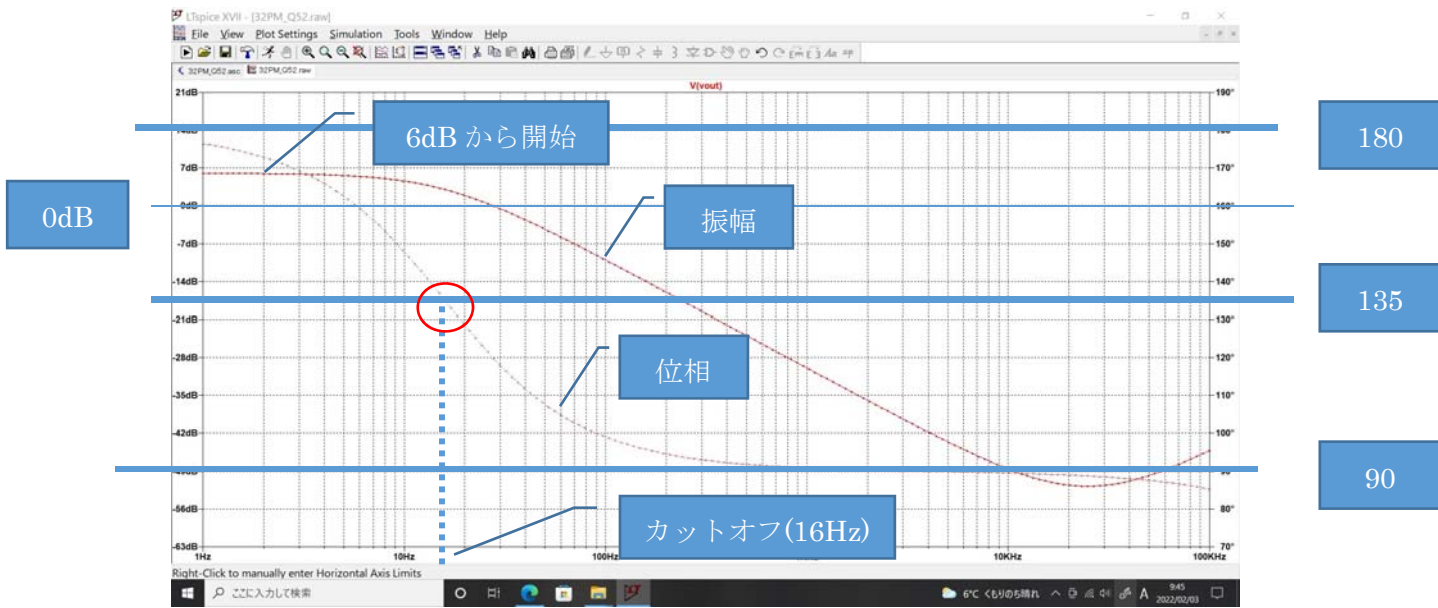


図 3 周波数特性 (振幅 : 実線と位相 : 点線 1Hz~100kHz)

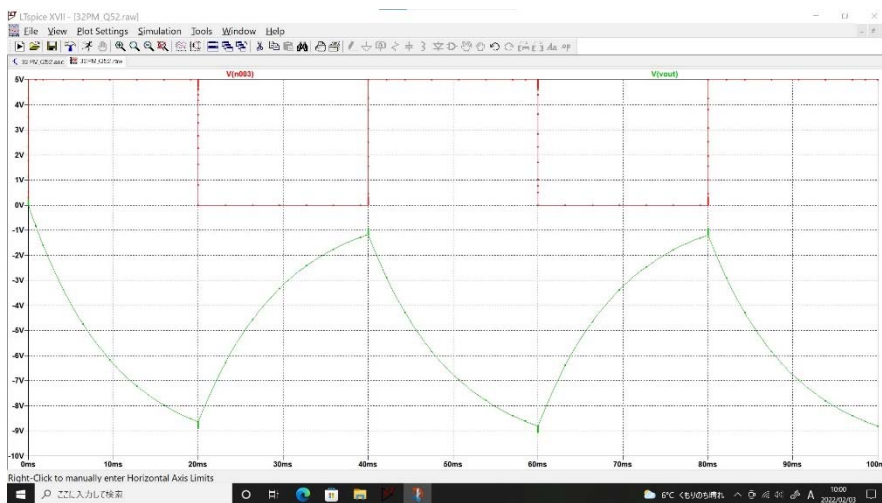


図 4 過渡応答

(5V の矩形波入力 [図の上、赤] に対し、-10V の積分波形 [図の下、緑] が出力されている。)