

2002年度 核・素・宇宙実験学 III (エレクトロニクス) 試験問題

2003/01/21 鶴 剛

1 チャージセンシティブアンプ回路

(1) 図1に示す比例計数管を用いた X 線放射線計測システムを考える。この動作を理解するために、正確では無いが(たとえば時間変化とかイオンの役割とか)簡単なモデルをつくって理解する。

X 線が比例計数管に入射し光電効果が起こると一次電子群が誕生し、芯線へ引っ張られていく。芯線付近の強い電場により、電子増幅がなだれ的に起こり増幅された二次電子群が芯線に入り、比例計数管から電気信号として出力される。芯線に入る電子の数は、最初の X 線エネルギーに比例するので、その比例計数管から出力される電荷の量を測定することで X 線エネルギーを測定することが出来る。

さて、あるエネルギーを持つ X 線が比例計数管で検出された場合を考える。簡単のため、その時に比例計数管から出力される電荷は、矩形波のパルスとして $10\mu\text{sec}$ の間に、電子 10^6 個が出力されたとする。まずは、図1の C_2 の存在は無視し、オペアンプや素子は理想的なものとする。

- 比例計数管の芯線にかかる DC 的な電圧 V_0 はいくらか?
- R_0 と C_1 の役割を述べよ。ヒント: もしも C_1 がなかったらどうなる? もしも R_0 がなかったら?
- X 線が入射した時に出力される電圧 V_1 の電圧波形を図で示せ。必要なら図の回路定数を用いること、また、電荷素量は $1.6 \times 10^{-19}[\text{C}]$ である。

(2) オペアンプのオープンループゲインが A の場合を考える。現実の図1のシステムには、比例計数管とオペアンプを結ぶ信号線には浮遊容量と呼ばれる容量 C_2 が存在する。この容量は pF オーダであり、 C_f にとって無視できない存在である。そのため、比例計数管から出力された電荷 Q は、 C_2 と C_f に分割され蓄積されることとなる。それぞれの容量で蓄積される電荷量を求めよ。また、オープンループゲインが無限大になった場合にどうなるかも示せ。

(3) オペアンプには、バイポーラトランジスタ入力型と FET 入力型の2種類がある。図1の回路に使用するオペアンプとしては、どちらが適当か述べ、その理由を説明せよ。

(4) 現実のオペアンプの性能を決める要素として、GB 積とスルーレートがある。それぞれを説明しなさい(これはオペアンプ一般の話です)。

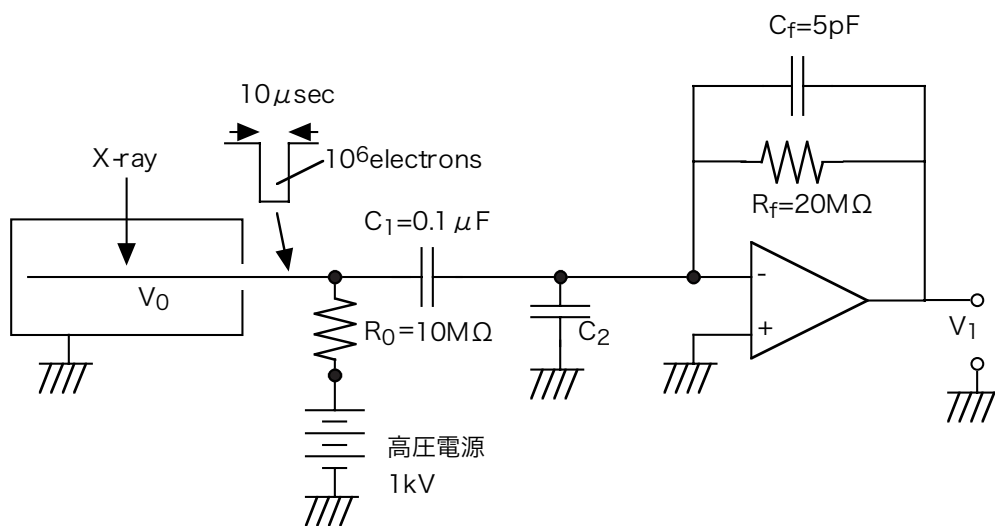


Figure 1:

2 過渡特性

(1) ラプラス変換を用いて次の常微分方程式を解け。

$$\frac{d^2 f(t)}{dt^2} + 3 \frac{df(t)}{dt} + 2f(t) = 0$$

$$f(0) = 0, f'(0) = 1$$

(2) 抵抗 (抵抗 R) とコンデンサー (容量 C) を用いた RC 積分回路を考える。

- RC 積分回路の回路図を示せ (入力、出力がどこなのか分かるようにきちんとかくこと)。
- 入力信号として、正弦波を入れた場合の周波数特性を式と図で示せ。ここで言う周波数特性とは、入力信号の振幅に対する出力信号の振幅の比である。位相は気にしなくて良い。
- 入力信号として、高さ V_0 の階段関数的な信号を入れた場合に得られる出力信号をラプラス変換を用いて計算し、図示せよ。ラプラス変換による計算が出来なくても図が正しいだけでも部分点を差し上げますので、あきらめないこと。

ラプラス変換のテーブル

実関数 $f(t)$ に対するラプラス変換を $F(s)$ と書くと、

$$F(s) \equiv \int_0^{\infty} f(t) \cdot \exp(-st) \cdot dt$$

と定義される。様々な関数に対するラプラス変換は以下の通りである。

$f(t)$	\rightarrow	$F(s)$
$\delta(t)$		1
階段関数 $\text{step}(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t > 0 \end{cases}$		$1/s$
t		$\frac{1}{s^2}$
t^2		$\frac{2}{s^3}$
$\frac{1}{(n-1)!} t^{n-1}$		$\frac{1}{s^n}$
$\exp(-at)$		$1/(s+a)$
$\sin(at)$		$a/(s^2+a^2)$
$t \cdot \exp(-at)$		$1/(s+a)^2$
$\exp(-at) \cdot \sin(bt)$		$b/[(s+a)^2+b^2]$
$\exp(-at) \cdot f(t)$		$F(s+a)$
$f(t/a)$		$a \cdot F(as)$
$\frac{df(t)}{dt}$		$s \cdot F(s) - f(0)$
$\frac{d^2 f(t)}{dt^2}$		$s^2 F(s) - s f(0) - f'(0)$
$\int_0^t f(t') \cdot dt'$		$F(s)/s$
$\int_0^t f(t-t') \cdot g(t') \cdot dt'$		$F(s) \cdot G(s)$

3 伝送線

- (1) ある程度長い距離で高周波信号の伝達をさせる場合には、同軸ケーブルを用いることが多い。
- 裸の2本線ではなく同軸ケーブルを使う理由を2つ述べよ。
 - 出力インピーダンス 50Ω の信号発生器からの出力信号を、入力インピーダンス $10M\Omega$ のオシロスコープで観測しながら、入力インピーダンス $10M\Omega$ の測定器に入れる。その際 50Ω の同軸ケーブルを用いて反射が起きないように繋ぐにはどう繋げば良いか、図示せよ。同軸ケーブル以外にターミネーターやT字端子などのコネクタを用いても構わない。
- (2) 同軸ケーブルの等価回路を図2に示す。 L および C は単位長さ当たりのインダクタンスと容量である。周波数 ω の信号について電流を $I(t, z) = I(z)e^{i\omega t}$ 、電圧を $V(t, z) = V(z)e^{i\omega t}$ とする。
- 図2を参照し、 ΔV 、 Z_L 、 Δz 、 I の間に成り立つ式を示せ。
 - 図2のコンデンサーに関して、単位長さ当たりのアドミタンスを Y_C とする。アドミタンスはインピーダンスの逆数であり、コンデンサーの容量とアドミタンスは正比例する。このことに注意し、a) 同様に、 ΔI 、 Y_C 、 Δz 、 V の間に成り立つ式を示せ。
 - Z_L と Y_C を使わないで、 C や L などを使い上の a) と b) の式を書き直せ。
 - c) で求めた2つの式を z に関する2つの微分方程式に書き直せ。
 - d) で求めた微分方程式を解き、 $I(t, z)$ と $V(t, z)$ を求めよ。ただし初期値 $I(0, 0) = I_0$ 、 $V(0, 0) = V_0$ とする。
 - この伝送線を伝わる信号の速度を求めよ。その速度が信号の周波数に対してどう依存するか述べよ。
 - $V(t, z)/I(t, z)$ を求めよ (この値のことを特性インピーダンスと呼ぶ)。

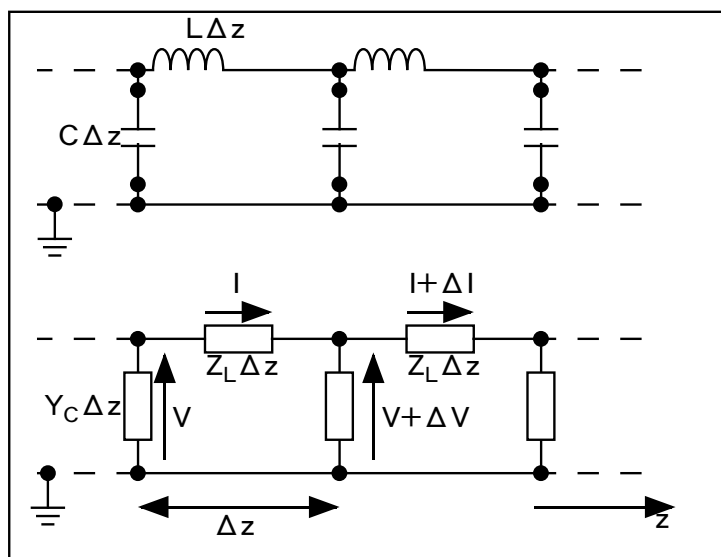


Figure 2:

4 トランジスタ回路

図3はエミッタフォロア付きのエミッタ接地回路である。これを理解して以下の問いに答えよ(なんと、授業でやったそのものの回路だ!)。ただし $33E3\Omega$ は $33 \times 10^3\Omega = 33k\Omega$ の意味である。他も同様。

(1) 2つのトランジスタのエミッタ、コレクタ、ベース、それぞれの DC 的な電圧を求めよ。答の数字のみを示すのではなく、それを求める過程も説明すること。

(2) V_{IN} に小さい AC 信号を入れた場合の増幅率を求めよ。答の数字のみを示すのではなく、それを求める過程も説明すること。

(3) AC 信号に対するこの回路の入力インピーダンスは幾らか?

(4) C_1 と C_2 の役割を説明せよ。 C_1 はセラミックコンデンサーを、 C_2 には容量の大きな電解コンデンサーを使用している。容量の数字だけを見ると、 C_2 だけでも良さそうであるが、現実には C_1 を入れる必要がある。その理由を説明せよ。

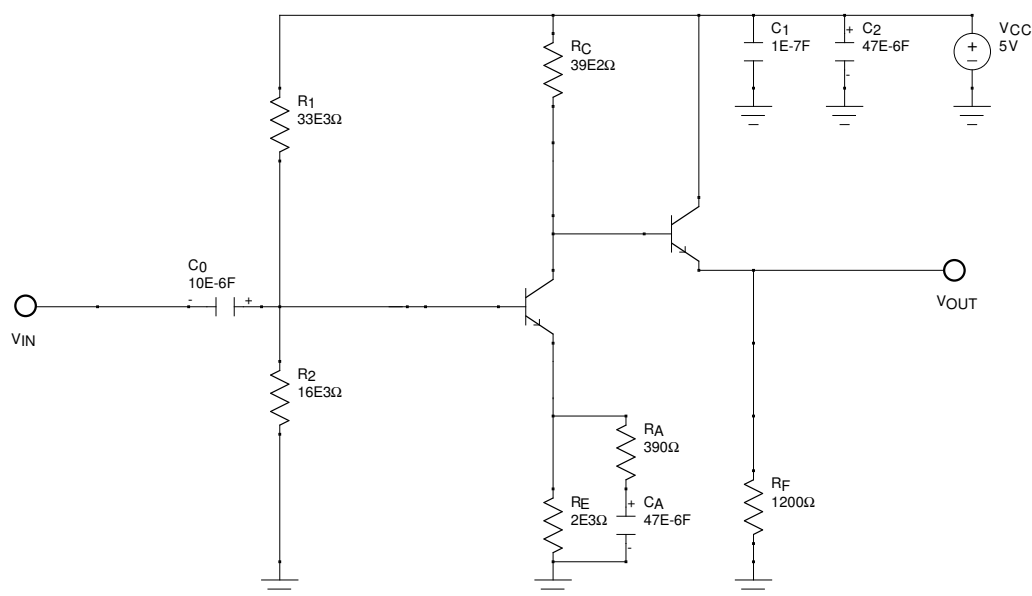


Figure 3:

おつかれ様でした。