

東京大学大学院新領域創成科学研究科 基盤情報学専攻 入試  
平成 19 年 専門科目 第 6 問

(1)

この回路はインバータを表す。

Input =  $V_{DD}$  のときは、

NM  $V_{OUT} \leq 0$  より、 $I_N = 0$

PM  $V_{IN} \geq -V_T$  より、 $I_P = 0$

であるから、出力は切り離されている。

Input = 0 になると、

NM  $V_{OUT} \leq 0$  より、 $I_N = 0$

PM  $V_{IN} \leq -V_T$  かつ  $V_{OUT} < 0$  より、 $I_P = I_1$

であり、出力容量に  $I_1$  の電流が流れる。これは、PM の  $V_{OUT}$  が 0 になるまで、つまり出力容量が  $V_{DD}$  に充電されるまで続く。

再び、Input =  $V_{DD}$  になると、

NM  $V_{IN} > V_T$  かつ  $V_{OUT} > 0$  より、 $I_N = I_1$

PM  $V_{IN} \geq -V_T$  より、 $I_P = 0$

であり、出力容量から  $I_1$  の電流が流れる。これは、NM の  $V_{OUT}$  が 0 になるまで、つまり出力容量が 0 に放電されるまで続く。

Input = 0 の期間で出力容量が完全に充電されるか、充電される前に Input =  $V_{DD}$  になるかでグラフの波形が異なる。

コンデンサに  $I_1$  が流れ込む時の電圧は、

$$V = \frac{1}{2C_1} \int_0^t I_1 dt = \frac{I_1}{2C_1} t$$

であり、これからコンデンサを  $V_{DD}$  まで充電するのにかかる時間  $t_1$  は、

$$\therefore t_1 = \frac{2C_1 V_{DD}}{I_1}$$

である。

$T_1 > t_1$  のとき、

$$\text{Output} = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ \frac{I_1}{2C_1}t & 0 < t \leq t_1 \\ V_{DD} & t_1 < t \leq T_1 \\ V_{DD} - \frac{I_1}{2C_1}(t - T_1) & T_1 < t \leq T_1 + t_1 \\ 0 & T_1 + t_1 < t \end{cases}$$

$T_1 \leq t_1$  のとき、

$$\text{Output} = \begin{cases} 0 & t \leq 0 \\ \frac{I_1}{2C_1}t & 0 < t \leq T_1 \\ \frac{I_1}{2C_1}T_1 - \frac{I_1}{2C_1}(t - T_1) & T_1 < t \leq 2T_1 \\ 0 & 2T_1 < t \end{cases}$$

これらをグラフにまとめれば良い。(グラフ略)

(2)

消費エネルギーはコンデンサを充電するのに必要なエネルギーに他ならない。

$T_1 > t_1$  のときは、コンデンサを  $V_{DD}$  まで充電するので、

$$E = \frac{1}{2} \cdot 2C_1 \cdot V_{DD}^2 = C_1 V_{DD}^2$$

$T_1 \leq t_1$  のときは、コンデンサを  $\frac{I_1}{C}T_1$  まで充電するので、

$$E = \frac{1}{2} \cdot 2C_1 \cdot \left(\frac{I_1}{2C_1}T_1\right)^2 = \frac{(I_1 T_1)^2}{4C_1}$$

(3)

1 段目の出力からは、2 段目の PM と NM の  $C_1$  が見える。したがって、これを合わせると  $2C_1$  の容量が付いているように見え、1 段目の出力は (1) で求めたものと同じである。

パルス幅が大きいとき、つまり  $T_1 > t_1$  のときの波形を、2 段目の回路に入力した時の挙動を考える。(1)との違いは入力波形の立ち上がりが緩やかであることである。

$0 < \text{Input} \leq V_T$  のときは、

NM  $V_{IN} \leq V_T$  より、 $I_N = 0$

PM  $V_{OUT} \geq 0$  より、 $I_P = 0$

であるから、出力は切り離されている。

$V_T < \text{Input}$  のときは、

NM  $V_{IN} > V_T$  かつ  $V_{OUT} > 0$  より、 $I_N = I_1$

PM  $V_{OUT} \geq 0$  より、 $I_P = 0$

であり、コンデンサに蓄えられた電荷が放電する。

2段目の出力は、1段目の出力が  $V_T$  を横切ってから変化を始める。つまり、 $t_2 = \frac{2C_1V_T}{I_1}$  の遅延をもつインバータ動作をする。

出力の波形は、

$$\text{Output} = \begin{cases} 0 & t \leq t_2 \\ V_{DD} - \frac{I_1}{2C_1}(t - t_2) & t_2 < t \leq t_1 + t_2 \\ 0 & t_1 + t_2 < t \leq T_1 + t_2 \\ \frac{I_1}{2C_1}(t - T_1) & T_1 < t \leq T_1 + t_2 \\ V_{DD} & T_1 + t_2 < t \end{cases}$$

であり、これをグラフにすれば良い。(グラフ略)

#### (4)

偶数段のインバータに入力された電圧は、そのまま出力に現れる。したがって、この入出力を接続してループを形成しても発振しない。

一方、奇数段のインバータに入力された電圧は、反転されて出力に現れる。反転された電圧が、再びインバータ列に入力されると、さらに反転された出力が現れる。こうしてこの回路は発振する。

$N$  段のインバータの遅延時間の後に、出力が変化するので、周期  $T$  は、

$$T = 2 \cdot N \cdot t_2 = \frac{2NC_1V_{DD}}{I_1}$$

である。