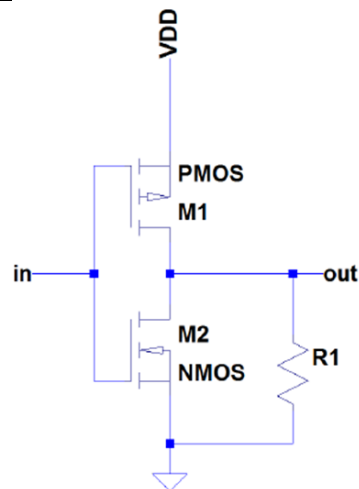


# REPORT (使用 PMOS:9540、NMOS:640)

## Experiment 1: CMOS Inverter



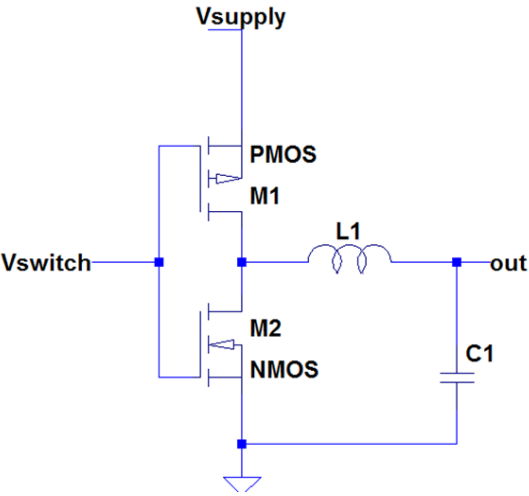
$V_{IL}(V)$	1.4	$V_{OH}(V)$	5
$V_{IH}(V)$	1.7	$V_{OL}(V)$	0

X-Y mode Graph (Set  $V_{in}$  as X axis and  $V_{out}$  as Y axis)



透過將 in 接在 CH1，out 接在 CH2，並接換為 X-Y mode，可以得到透過一個 NMOS 及 PMOS 所組成的 inverter 的 VTC。

**Experiment 2: Buck Converter (Step-down Converter)**





Duty Cycle Of $V_{\text{switch}}$	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%
$V_{\text{out,avg}}(\text{DC})$	4.03	3.51	3.00	2.49	2.00	1.50	1.01
$V_{\text{out,avg,thm}}(\text{DC})$	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
$V_{\text{out,amp}}(\text{AC})$	150m	200m	200m	200m	200m	200m	200m



NOTE:



DC coupling for output voltage DC value measurement



AC coupling for output ripple waveform observation



1.



$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 20%	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
		

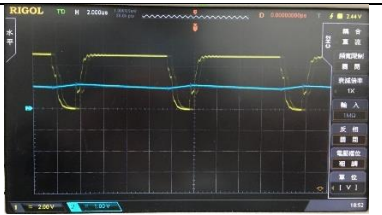

$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 30%	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
		

$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 40%	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
		

$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 50%	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
		

$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 60%	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
		

$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 70%	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
		

$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 80%	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
		

2.

Step I:

Let  $R_L = \text{open}$  (i.e. without load resistor).

To get  $V_{\text{out}} = 2.5\text{V}$ , set  $V_{\text{switch}}$  duty cycle 50 %

$V_{\text{switch}}$  and  $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform



Step II: Connect  $R_L=25\Omega$  to the output node in parallel.

Step III:  $V_{RL} =$  2.18  $\text{V}$

$V_{\text{switch}}$  and  $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform



Step IV:  $P_{RL} = (V_{RL})^2 / R_L =$  0.19  $\text{W}$

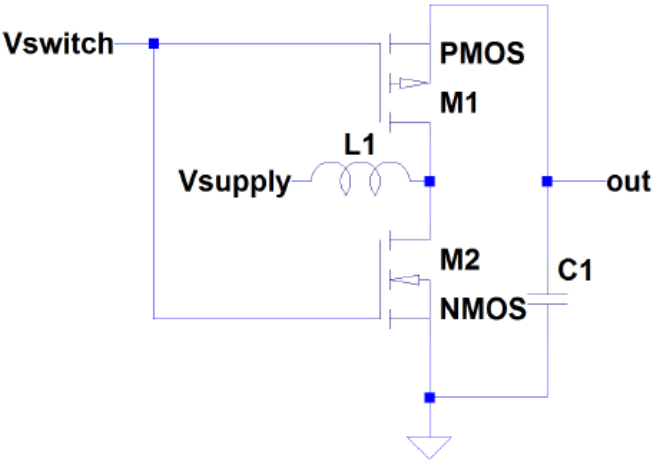
Step V:  $V_{\text{power supply}} =$  5  $\text{V}$   $I_{\text{power supply}} =$  0.049  $\text{A}$

$P_{\text{power supply}} = IV =$  0.245  $\text{W}$

Step VI:

Efficiency  $\eta = P_{RL} / P_{\text{power supply}} =$  0.7755 %



**Experiment 3: Boost Converter (Step-up Converter)**

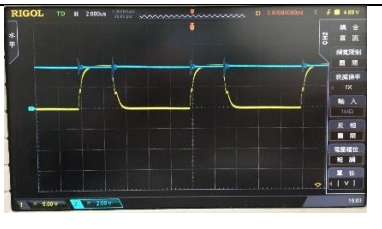





Duty Cycle Of $V_{\text{switch}}$	20%	30%	40%	50%	60%
$V_{\text{out,avg}}(\text{DC})$	<b>3.75</b>	<b>3.8</b>	<b>4.2</b>	<b>5</b>	<b>6.2</b>

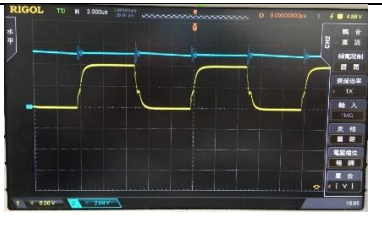




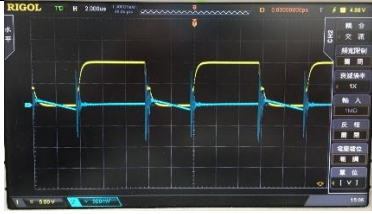
1.

	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 20%		

	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 30%		

	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 40%		

	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 50%		

	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveform	$V_{\text{switch}}$ and $V_{\text{out}}$ (AC coupling) waveform
$V_{\text{switch}}$ duty cycle = 60%		

2.

Step I:

Let  $R_L$  = open (i.e. without load resistor).To get  $V_{\text{out}} = 5\text{V}$ , set  $V_{\text{switch}}$  duty cycle 50 % $V_{\text{switch}}$  and  $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveformStep II: Connect  $R_L = 50\Omega$  to the output node in parallel.Step III:  $V_{RL} =$  4.2 V $V_{\text{switch}}$  and  $V_{\text{out}}$ (DC coupling) waveformStep IV:  $P_{RL} = (V_{RL})^2 / R_L =$  0.3528 WStep V:  $V_{\text{power supply}} =$  2.49 V  $I_{\text{power supply}} =$  0.192 A $P_{\text{power supply}} = IV =$  0.47808 W

Step VI:

Efficiency  $\eta = P_{RL} / P_{\text{power supply}} =$  0.7379 %



## 電容在週期訊號的穩態分析：

已知流經電感的電流為：

$$i_c(t) = C \frac{dv_c(t)}{dt} \quad \dots(1)$$

將(1)移項積分以得到電容跨壓：

$$\begin{aligned} dv_c(t) &= \frac{i_c(t)}{C} dt \\ \Rightarrow \int_{t_0}^{t_0+t} dv_c(t) &= \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+t} i_c(t) dt \\ \Rightarrow v_c(t) &= v_c(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+t} i_c(t) dt \quad \dots(2) \end{aligned}$$

又因為電容處在週期的穩態條件，因此電容跨壓也會是週期訊號：

$$v_c(t_0 + T) = v_c(t_0) \quad \dots(3)$$

將(2)代入(3)：

$$\begin{aligned} v_c(t_0) + \frac{1}{C} \int_{t_0}^{t_0+T} i_c(t) dt &= v_c(t_0) \\ \Rightarrow \int_{t_0}^{t_0+T} i_c(t) dt &= 0 \quad \dots(4) \end{aligned}$$

又流經電容的平均電流為：

$$i_{c_{avg}} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i_c(t) dt \quad \dots(5)$$

將(4)代入(5)可得：

$$i_{c_{avg}} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i_c(t) dt = 0 \quad \dots(6)$$

由(6)可知當電容在週期訊號下的穩態平均電流為 0。

## 電感在週期訊號的穩態分析:

已知電感的跨壓為:

$$v_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt} \quad \dots (7)$$

將(6)移項積分以得到流經電感的電流:

$$\begin{aligned} di_L(t) &= \frac{v_L(t)}{L} dt \\ \Rightarrow \int_{t_0}^{t_0+T} di_L(t) &= \frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt \\ \Rightarrow i_L(t) &= i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt \quad \dots (8) \end{aligned}$$

電感處在週期的穩態條件，因此流經電感的電流也會是週期訊號:

$$i_L(t_0 + T) = i_L(t_0) \quad \dots (9)$$

將(8)代入(9):

$$\begin{aligned} i_L(t_0) + \frac{1}{L} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt &= i_L(t_0) \\ \Rightarrow \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt &= 0 \quad \dots (10) \end{aligned}$$

又電感的平均跨壓為:

$$v_{L_{avg}} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt \quad \dots (11)$$

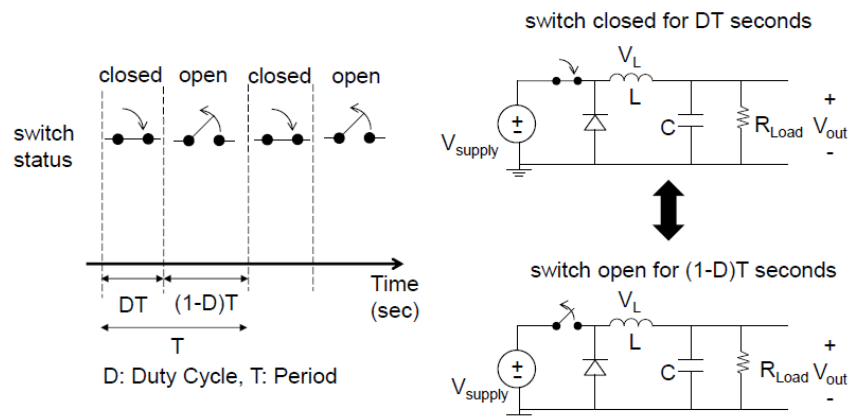
將(11)代入(12)可得:

$$v_{L_{avg}} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v_L(t) dt = 0 \quad \dots (12)$$

由(12)可知當電感在週期訊號下的穩態平均跨壓為 0。

## Buck Converter (Step-down Converter)

用途與期中專題的穩壓 IC 一樣，能夠把輸入電壓減少。



這樣的電路是由一個開關及電感電容電阻電路所組成。考慮以下兩種情況。(a) switch close (b) switch open

(a) switch close:

當開關是關著的時候，代表電流可以流過，此時 diode 為逆偏、不導通，可以將其視為斷路。而此時電感正在充電，其跨壓為：

$$v_L = V_{supply} - V_{out}$$

(b) switch open:

當開關是打開的時候，代表電流無法通過，此時 diode 為順偏導通，可以將其視為短路。而此時變為電感放電，其電感跨壓變為：

$$v_L = 0 - V_{out} = -V_{out}$$

有了上面兩種情形便能夠計算跨在電感上的平均電壓  $v_{L_{avg}}$ ：

$$v_{L_{avg}} = \frac{1}{T} \int_0^T v_L(t) dt = \frac{1}{T} \left[ \int_0^{DT} v_L(t) dt + \int_{DT}^T v_L(t) dt \right] \quad \dots (13)$$

(紅色部分為 switch close，藍色部分為 switch open)

將(a) (b) 帶入(13):

$$v_{L_{avg}} = D(V_{supply} - V_{out}) + (1-D)(-V_{out})$$

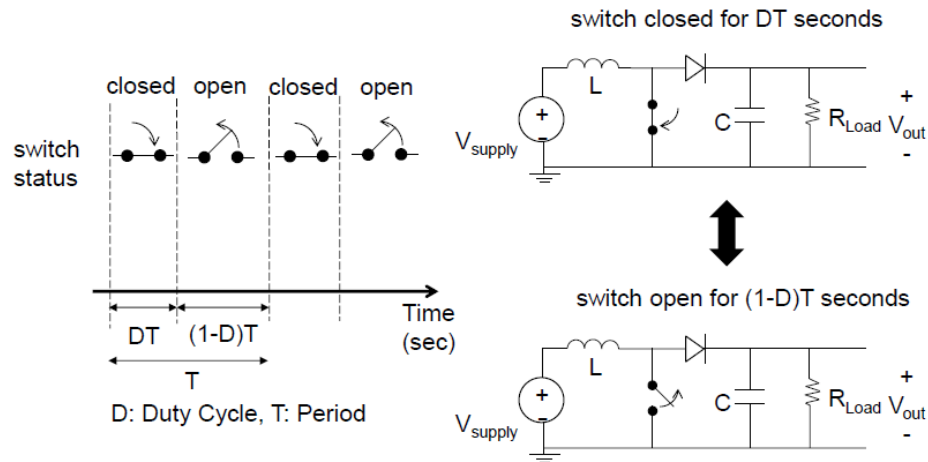
由(12)可知週期訊號的穩態平均電壓為 0，因此可以得到輸入與輸出的關係為：

$$V_{out} = DV_{supply} \quad \dots (14)$$

( $D$  為開關在一個週期所關閉的時間)

## Boost Convertor (Step-up Convertor)

用途與 Buck Convertor 相反，把輸入增加之後輸出。



同樣考慮以下兩種情形：(a) switch close (b) switch open

(a) switch close:

當開關是關著的時候，右半邊的電路被開關短路，因此電流經過電感、開關，然後接地。此時電感的跨壓為：

$$v_L = V_{supply}$$

(b) switch open:

當開關是打開的時候，此時 diode 為順偏，可以視為短路，此時電感的跨壓為：

$$v_L = V_{supply} - V_{out}$$

有了上面兩種情形便能夠計算跨在電感上的平均電壓  $v_{L_{avg}}$ ：

將 (a) (b) 帶入 (13)：

$$v_{L_{avg}} = DV_{supply} + (1-D)(V_{supply} - V_{out})$$

由 (12) 可知週期訊號的穩態平均電壓為 0，因此可以得到輸入與輸出的關係為：

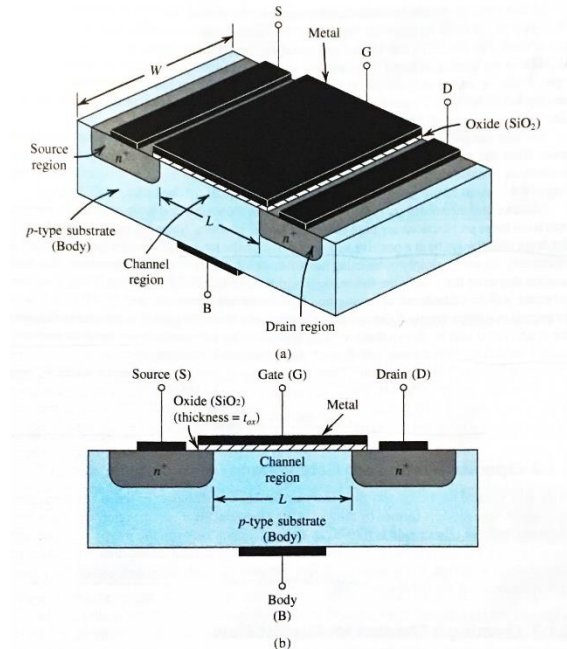
$$V_{out} = \frac{V_{supply}}{1-D} \quad \dots (15)$$

( $D$  為開關在一個週期所關閉的時間)

## 認識 MOSFET:

透過兩個 terminal 間的電壓來控制第三個 terminal 的電流。

## NMOS:



基底為 p-type 在上面有兩處參雜高濃度的 n-type，而上面有一層  $\text{SiO}_2$  的絕緣層。透過 gate(G) 來控制從 drain(D) 流到 source(S) 的電流。假如  $V_g = 0$ ，則可以想成是兩個背對背 pn-junction 黏在一起，若給定  $V_{DS} \neq 0$ ，兩個背對背的 pn-junction 能夠阻擋 drain 及 source 間的電流通過。倘若將 source 接地，給定  $V_{GS} \neq 0 > V_{TH}$ ，此時會在 drain 及 source 間產生 inversion layer，使電流能夠通過。因此可以將其接為一個開關電路。

## CMOS:

將一個 PMOS 及 NMOS 接在一起便形成了一個 CMOS，能夠改善使用一個 MOSFET 開關關閉時，輸出不為 0 的缺點。

## 心得:

這次的實驗腳位比較多，有點混亂，所以在接電路的時候花了蠻多的時間。另外，這次的內容對我來說是完全沒有接觸過的領域，因此不管是實驗前或是實驗後都花了許多時間在分析電路，到最後終於把所有的知識點都釐清搞懂了，也非常感謝助教協助我釐清我的盲點。！

