

---

# 마이크로컨트롤러 기능

제 13장 Buck 컨버터 제어하기



**ICAT**

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

# Buck 컨버터 제어하기

---

1. Buck 컨버터
2. Buck 컨버터 출력 특성 실습



**ICAT**

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

# Buck 컨버터

---

## □ Buck 컨버터

- Buck 컨버터는 비 절연방식인 감압형 DC-DC 컨버터로 스위칭 소자에 의해 입력 전압보다 출력전압이 낮게 출력된다.
- DC-DC 컨버터의 스위칭 소자를 이용한 전력변환 동작 원리상 DC-DC 컨버터의 출력전압  $V_o$ 에는 직류성분 외에 구형파의 교류성분이 포함되어 있다.
- 부하에서 필요로 하는 전원은 교류성분이 없는 일정한 직류전원이다.
  - 출력전원에 포함된 불필요한 교류성분을 제거해 주어야 한다.
- 교류성분을 제거하기 위해서는 출력의 직류성분을 통과시키고, 교류성분은 차단하는 저역필터회로(low pass filter)추가해야 한다.
- Buck 컨버터는 기본 DC-DC 컨버터에 LC 저역필터회로를 포함한 회로이다.



**ICAT**

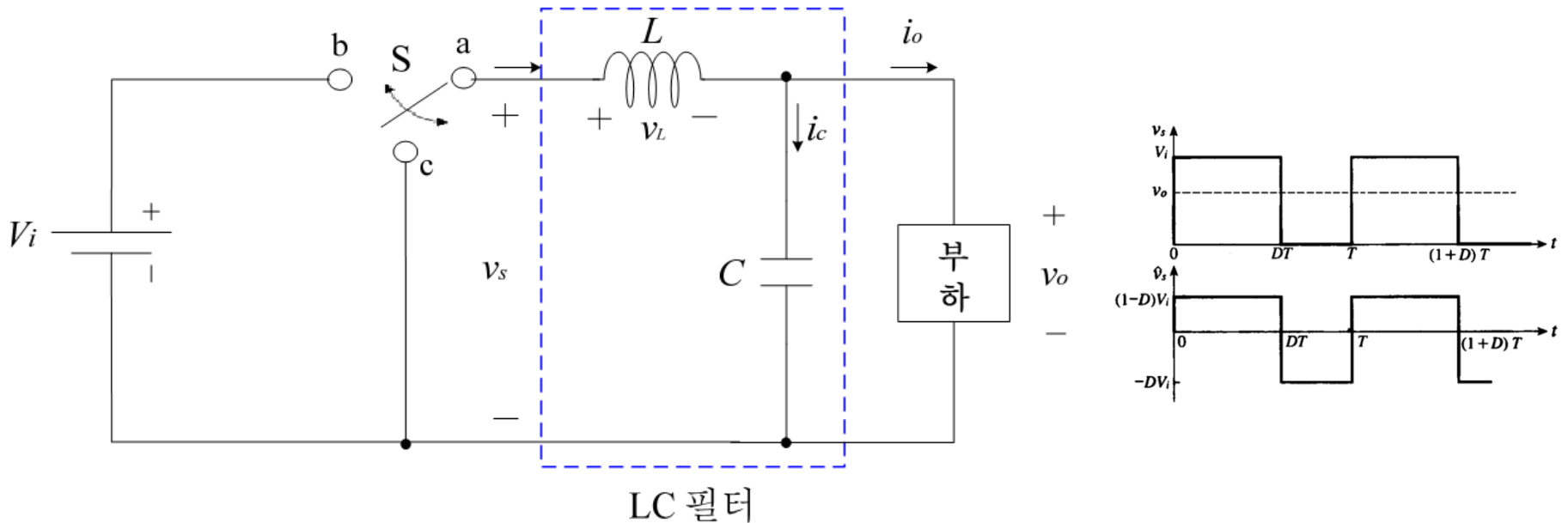
Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

# Buck 컨버터

## □ Buck 컨버터

### □ 기본적인 Buck 컨버터의 구조

□ 회로에서 LC 필터는 스위칭에 따라 발생된 교류성분을 제거하게 된다.



# Buck 컨버터

---

## □ 전압전달비 $G_v$

- 실제 컨버터에서 스위치(S)의 온오프 시간에 따라 필터 전단의 전압( $V_s$ )에는 교류성분(리플)이 포함되게 된다.
  - 리플을 제거하기 위한 LC 필터가 이용되며 LC 필터를 거친 교류성분은 출력측에서 최종적으로 제거되게 된다.
- Buck 컨버터 외로에 LC필터가 있고 그 값이 이상적이라면 입력전압이 출력측에 전달되는 전압 전달비( $G_v$ )를 아래 수식과 같이 정의 할 수 있다.

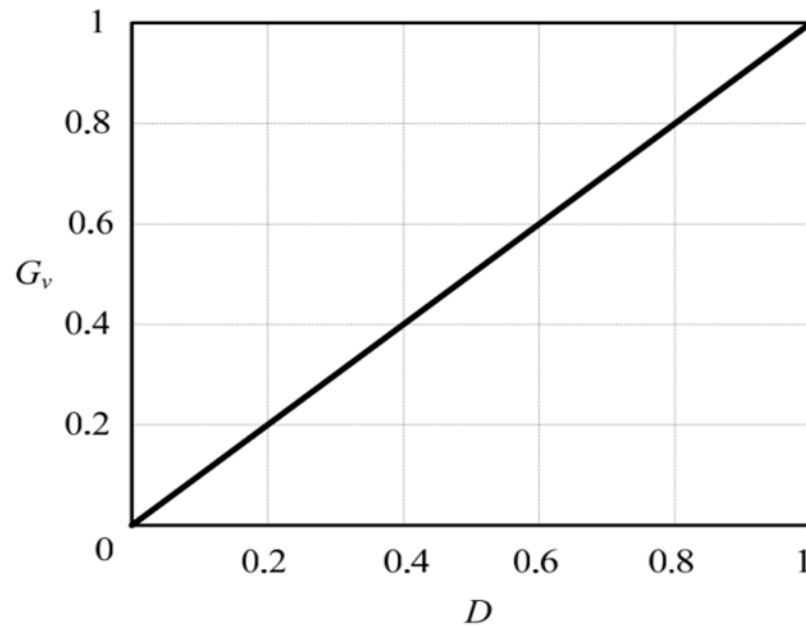
$$G_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{DV_i}{V_i} = D$$

- 수식을 통해, 통류율(D)과 전압전달비( $G_v$ )는 비례하게 됨을 알 수 있다.



# Buck 컨버터

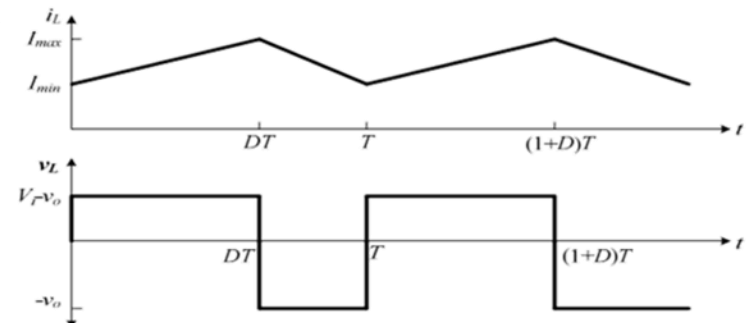
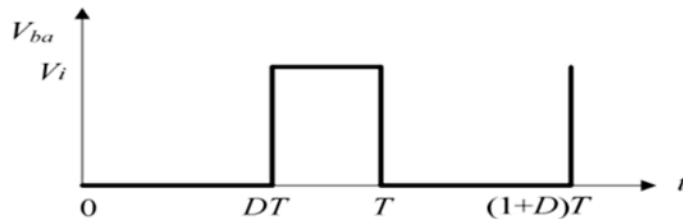
- 전압전달비  $G_v$  □
  - **통류율과 전압전달비( $G_v$ )의 관계**
    - Buck 컨버터의 전압전달비( $G_v$ )의 범위는 0~1이며 통류율( $D$ )에 비례하게 된다.



# Buck 컨버터

## □ Buck 컨버터의 동작 원리

- Buck 컨버터에서 인덕터  $L$ 과 커패시터  $C$ 가 이상적으로 매우 크면 정상상태에서 인덕터  $L$ 에는 일정한 전류가 흐르고 커패시터  $C$  양단에는 일정한 전압이 걸리게 된다.
- 실제의 경우 인덕터와 커패시터는 이상적이지 않으므로 인덕터 전류  $i_L$  이나 출력전압  $V_o$ 에 리플성분이 포함된다.
- Buck 컨버터의 스위칭동작에 따른 인덕터에 걸리는 전압  $v_L$ 과 전류  $i_L$ 의 파형



- Buck 컨버터의 스위치가 On일 때는 시간은 인덕터의 전류가 상승되는 구간이 되며, Off일때는 전류가 하강되는 구간이 된다.
- (스위치 주기  $T$ , 통류율  $D$ , 인덕터 전류  $i_L$ , 인덕터 전압  $v_L$ )



# Buck 컨버터

## □ 인덕터 전류 $i_L$ 의 변화

### □ 전류 상승 구간: $0 \leq t \leq DT$

□ Buck 컨버터의 MOSFET 스위치 S가 ON되는  $DT$ 동안 전류 상승 구간으로 키르히호프의 전압법칙(KVL)을 적용한다.

□ 전압  $v_L$ 은  

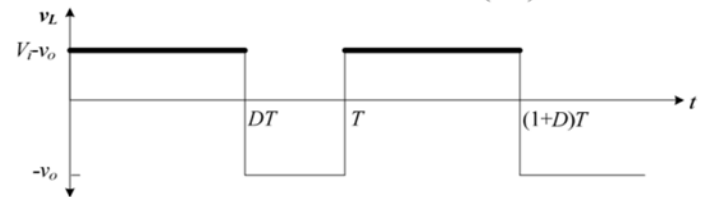
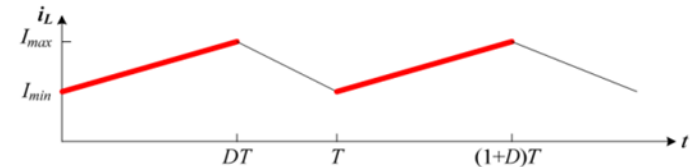
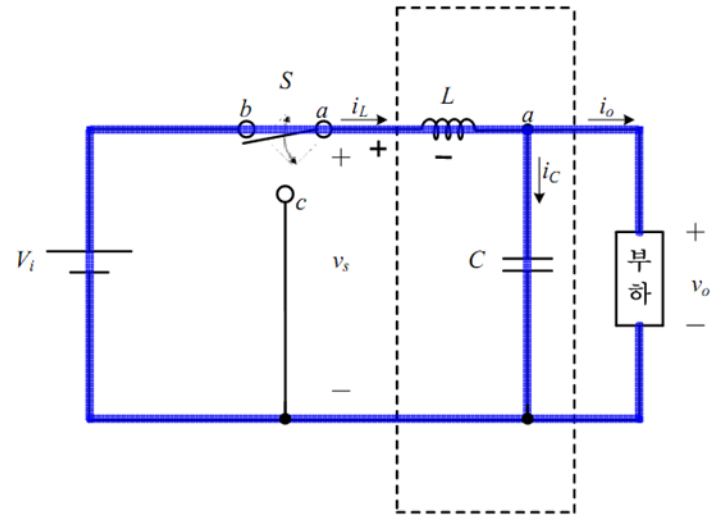
$$v_L = V_i - v_o$$

□ 전류  $i_L$  과 인덕터 전압  $v_L$  과의 관계  

$$v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

□ 인덕터 L에 흐르는 인덕터 전류  $i_L$ 의 기울기  

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_i - v_o}{L}$$





# Buck 컨버터

## □ 인덕터 전류 $i_L$ 의 변화

### ▣ 전류 상승 구간: $0 \leq t \leq DT$

- ▣ 정상상태에서 출력전압  $v_o$ 는 입력전압  $v_i$ 보다 작으므로 스위치 S가 입력전원과 연결되는 DT구간 동안 인덕터 전류  $i_L$ 은 증가한다.
- ▣ 인덕터 전류는 스위치 S가 ON되는 순간인  $t=0$ 에는 최소값  $I_{min}$ 이 되며, 스위치 S가 OFF되기 직전인  $t=DT$ 에는 최대값  $I_{max}$ 로 증가한다.

- ▣ 인덕터 전류  $i_L$ 은  $i_L(t) = \frac{1}{L} \int_0^t (V_i - v_o) dt + I_{min}$

- ▣ 인덕터의 최대전류  $I_{max}$ 는  $i_L(DT) = I_{max} = \frac{1}{L} \int_0^{DT} (V_i - v_o) dt + I_{min}$

- ▣ 출력전압  $v_o$ 의 리플성분이 L, C 필터회로에 의해서 대부분 제거되어 출력전압은 일정한 직류전압  $v_{dc}$ 가 되고 전류 상승 구간 동안 인버터 전류  $i_L$ 은

$$I_{max} - I_{min} = \frac{V_i - V_o}{L} \times DT \text{ 와 같이 상승한다.}$$



# Buck 컨버터

## □ 인덕터 전류 $i_L$ 의 변화

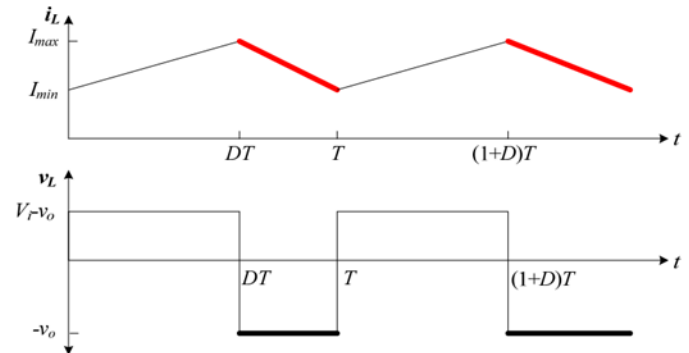
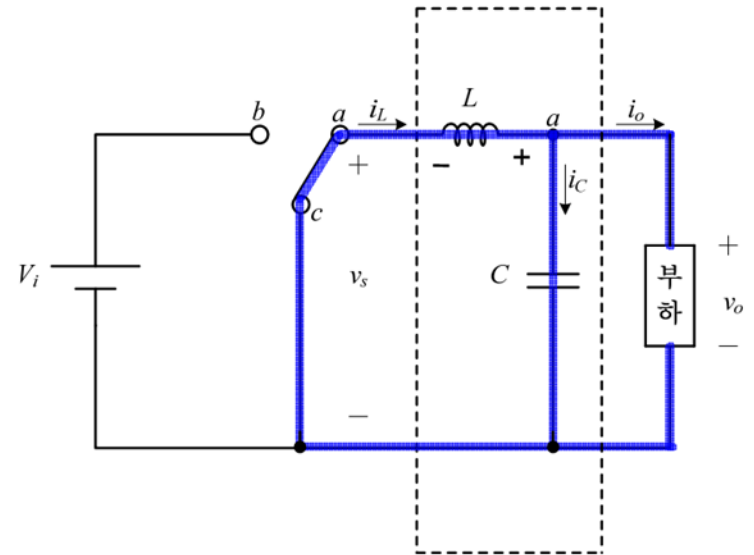
### □ 전류 하강 구간: $DT \leq t \leq T$

□ Buck 컨버터의 MOSFET 스위치 S가 OFF되는  $(1-D)T$  동안 전류 하강 구간으로 키르히호프의 전압법칙(KVL)을 적용한다.

□ 전압  $v_L$ 은  
 $v_L = -v_o$

□ 전류  $i_L$  과 인덕터 전압  $v_L$  과의 관계  
 $v_L = L \frac{di_L}{dt}$

□ 인덕터 L에 흐르는 인덕터 전류  $i_L$ 의 기울기  
 $\frac{di_L}{dt} = -\frac{v_o}{L}$



# Buck 컨버터

## □ 인덕터 전류 $i_L$ 의 변화

### □ 전류 하강 구간: $DT \leq t \leq T$

- 정상상태에서 출력전압  $v_o$ 는 항상 0보다 크므로 스위치 S가 입력전원과 차단되는  $(1-D)T$ 구간 동안 인덕터 전류  $i_L$ 은 감소한다.
- 인덕터 전류는 스위치 S가 OFF되는 순간인  $t=DT$ 에는 최대값  $I_{max}$ 이 되며, 스위치 S가 ON되기 직전인  $t=T$ 에는 최소값  $I_{min}$ 으로 감소한다.
- 인덕터 전류  $i_L$ 은  $i_L(t) = \frac{1}{L} \int_{DT}^t (-v_o) dt + I_{max}$
- 인덕터 최소전류  $I_{min}$ 은  $i_L(t=T) = I_{min} = \frac{1}{L} \int_{DT}^T (-v_o) dt + I_{max}$
- 출력전압  $v_o$ 의 리플성분이 L, C 필터외로에 의해서 대부분 제거되어 출력전압은 일정한 직류전압  $v_{dc}$ 가 되고 전류 하강 구간 동안 인버터 전류  $i_L$ 은  $I_{min} - I_{max} = \frac{-V_o}{L} \times (1-D)T$ 와 같이 하강한다.



# Buck 컨버터

---

## □ 인덕터 전류 $i_L$ 의 변화



### □ 부아에 걸리는 출력전압

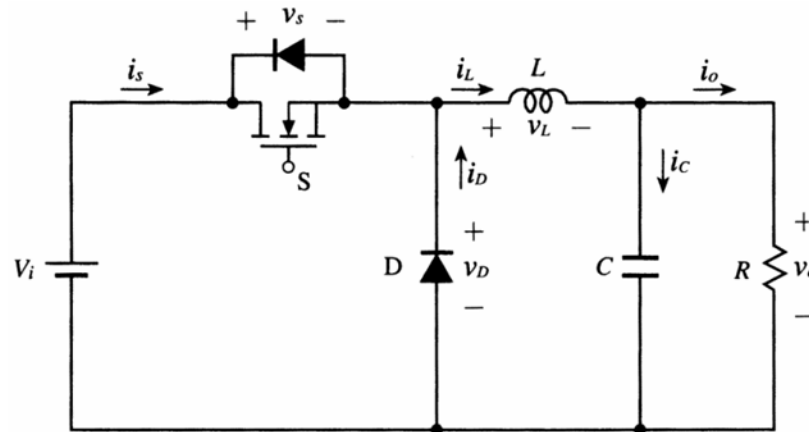
- 인덕터 전류  $i_L$ 은 스위치 S가 ON되는 순간 DT구간 동안 상승하고, 스위치 S가 OFF되는 순간  $(1-D)T$  구간 동안 하강한다.
- 정상상태에서 인덕터 전류  $i_L$ 의 상승폭과 하강폭은 동일하므로 출력전압  $v_o$ 에 대한 관계식은  $\frac{v_i - v_o}{L} \times DT - \frac{v_o}{L} \times (1 - D)T = 0$  이다.
- 출력전압  $v_o$ 은  $v_o = D \times v_i$  이다.



# Buck 컨버터

## □ 실제 Buck 컨버터의 외로 구성 □

- 실제 Buck 컨버터의 외로에는 스위칭 주파수를 크게할 수 있는 반도체 소자 (MOSFET)로 구현되어 입력전력을 출력측으로 전달하게 된다.
- 여기에 다이오드 D가 추가되어 전역스위치가 오프되는 구간 동안 인덕터 전류  $i_L$ 이 흐를 수 있도록 한다.



- 실제외로 구성에서 Diode (free wheel Diode)로 인해 스위치가 오프되는 구간동안 인덕터 전류  $i_L$ 은 선형적으로 하강하게 되고 최종  $i_L=0$ 이 된다.
- 스위치가 다시 온되는 시간 동안 다이오드는 오프상태를 유지하게 되는데 이때 전류의 상승과 하강이 연결되는 않는 형태를 전류 불연속 모드 (DCM : DisContinuous Mode)라 한다.

# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

---

## □ 실습 개요

- ❖ 실험을 통해서 실제로 통류율의 변화에 따라 출력 전압이 어떻게 변화하는지를 확인해 보도록 한다.
- ❖ ATmega128A의 PWM 기능을 이용하여 Buck 컨버터를 제어하도록 한다.
- ❖ PWM의 주파수와 통류율을 변화 시켜 Buck 컨버터의 출력특성을 알아 보도록 한다.

## □ 실습 목표

- ❖ Buck 컨버터의 동작원리를 이해
- ❖ ATmega128A를 이용한 Buck 컨버터 사용 방법 습득



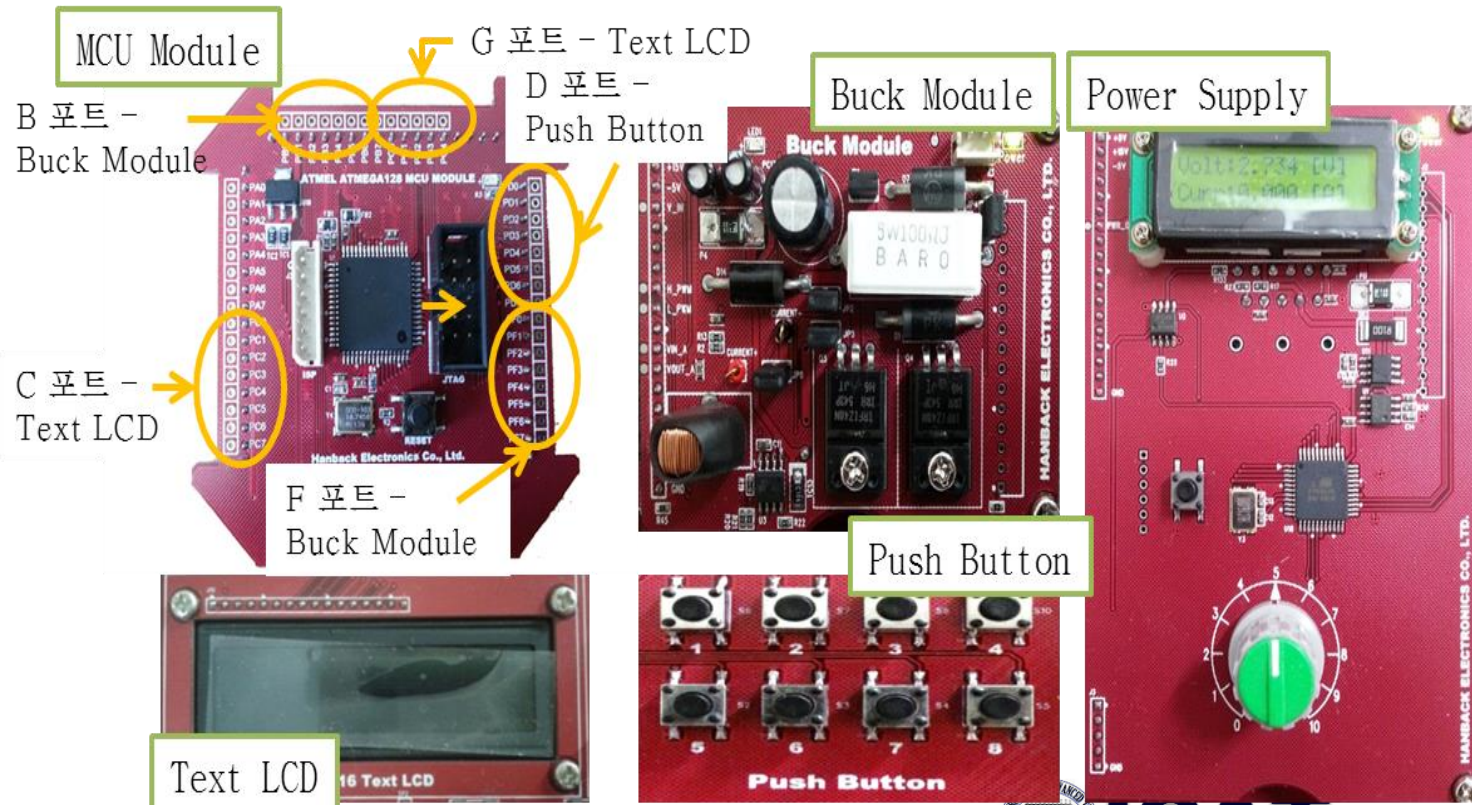
**ICAT**

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

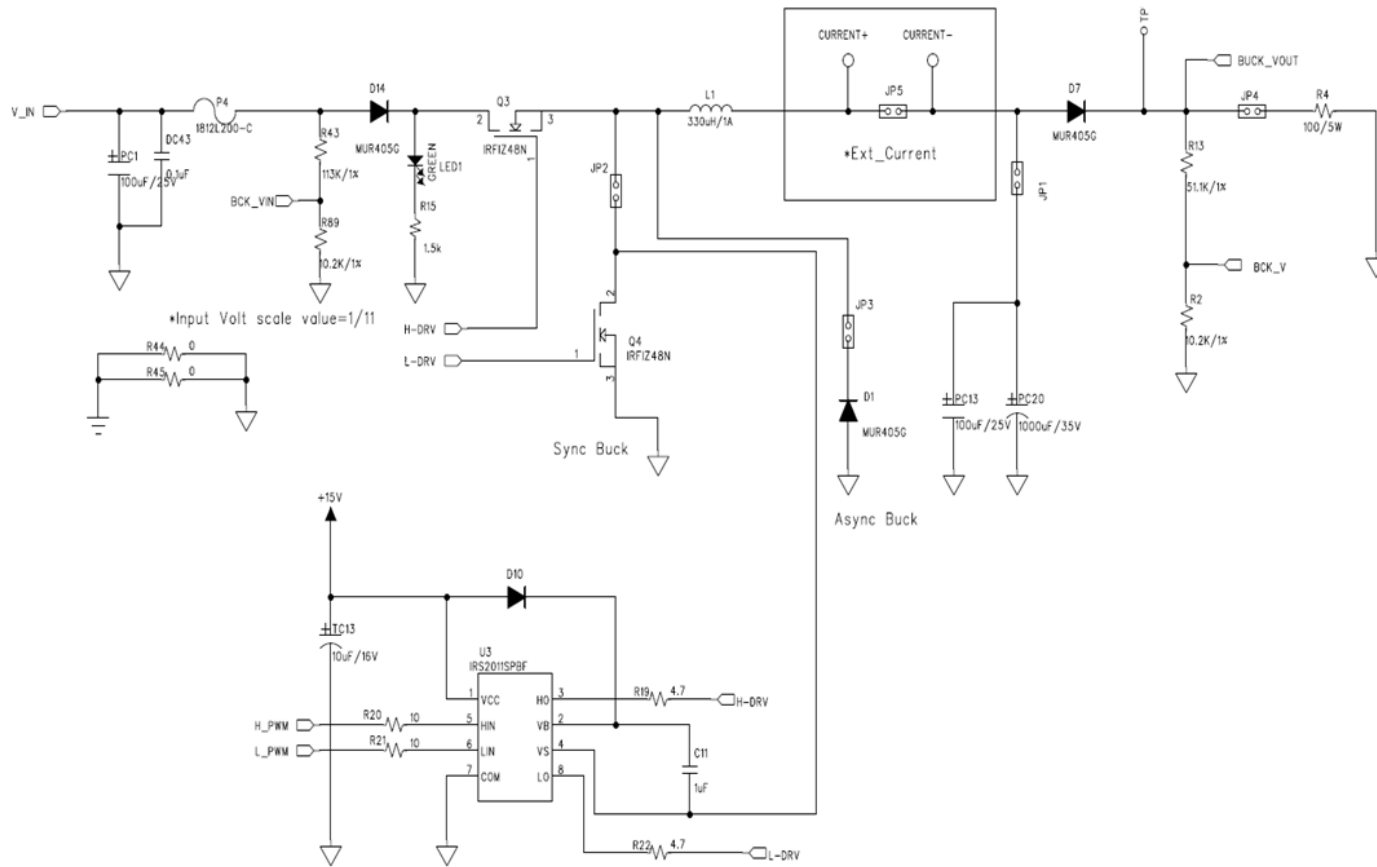
## □ 사용 모듈

- ❖ MCU 모듈, TEXT LCD 모듈, Buck 모듈, Push Button, Power Supply



# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

□ 사용 모듈 : Buck 컨버터 모듈의 회로

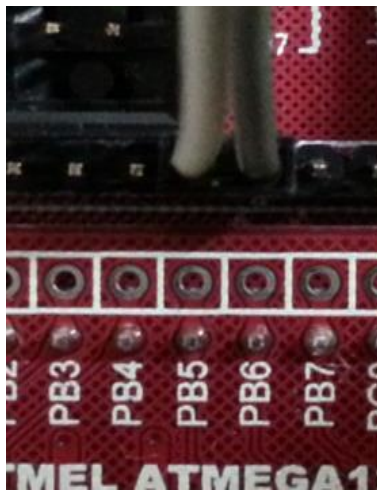




# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

## □ 모듈 결선 방법

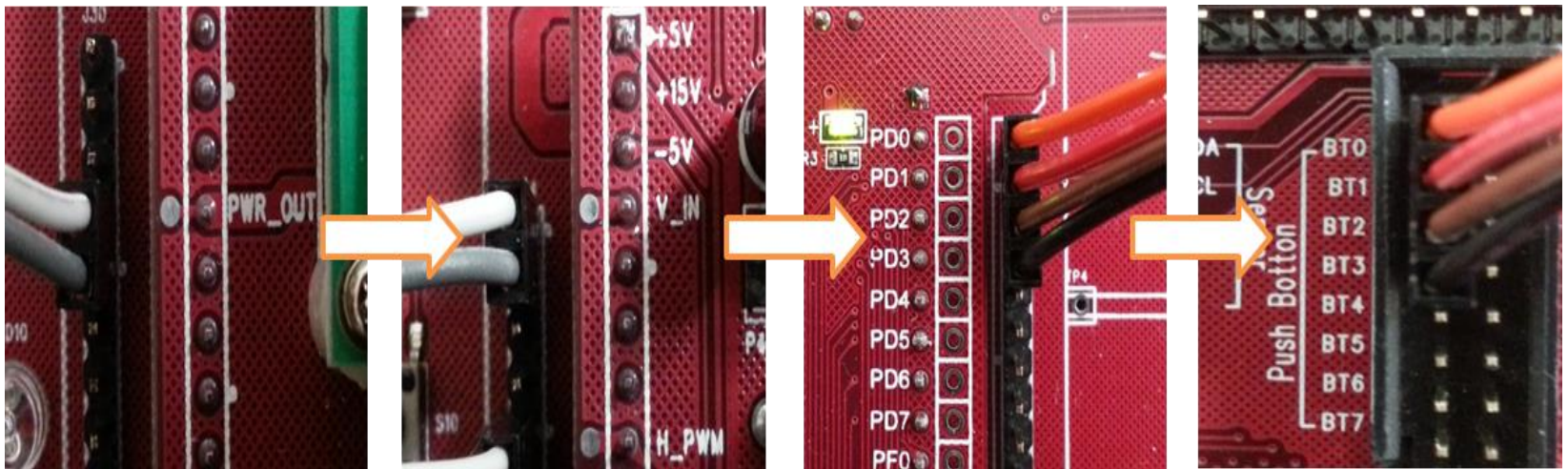
- ❖ MCU 모듈 포트 B의 PB5, PB6은 Buck 컨버터 모듈의 H\_PWM, L\_PWM에 연결
- ❖ MCU 모듈 포트 F의 PF0, PF1은 Buck 컨버터 모듈의 VIN\_A, VOUT\_A에 연결



# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

## □ 모듈 결선 방법

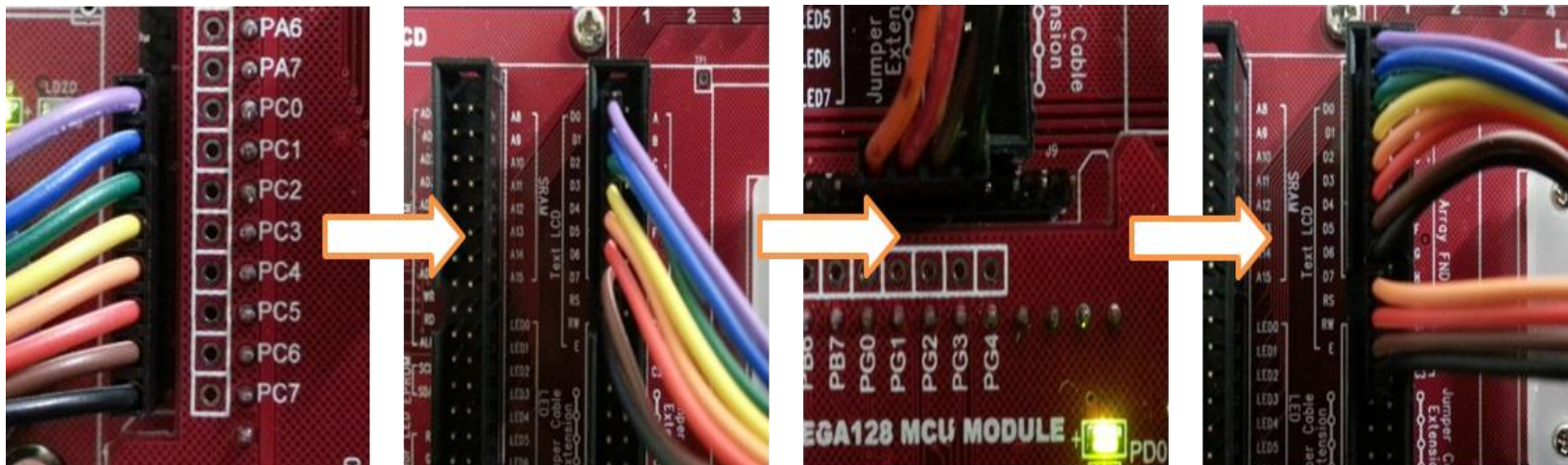
- ❖ Power Supply 모듈의 PWR\_OUT을 Buck 컨버터 모듈의 V\_IN에 연결
- ❖ MCU 모듈 포트 D의 PD0~PD3을 Push Button 모듈의 BT0~BT3에 연결



# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

## □ 모듈 결선 방법

- ❖ MCU 모듈 포트 C의 PC0~PC7을 Text LCD 모듈의 D0~D7에 연결
- ❖ MCU 모듈 포트 G의 PG0~PG2를 Text LCD 모듈의 RS, RW, E에 연결



# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

---

## □ 구동 프로그램 : 사전지식

- ❖ Buck 컨버터의 입력은 PWM 신호로 제어되며 쌍으로 구성된 2개의 서로 반대 값인 PWM 신호를 사용한다.
- ❖ PWM을 쌍으로 제어해야 하므로 타이머 1의 OCR1A와 OCR1B를 사용 한다.
- ❖ 타이머 1의 레지스터들을 설정하여 PWM 파형을 생성한다.
- ❖ Buck 컨버터의 라이브러리 함수
  - Buck 컨버터 라이브러리 함수들은 buck.c 파일에 포함되어 있음
  - pwm\_init(void) : Timer 1의 PWM을 초기화 함
  - pwm\_set (unsigned int pwmFreq,unsigned int pwmDuty) : pwmFreq의 값을 갖는 주파수와 pwmDuty의 값을 갖는 듀티비의 PWM 파형을 설정 함
  - SW\_init(void) : PWM의 주파수 및 듀티비를 제어하기위한 Push Button을 초기화 함
  - adc\_init(void) : Buck 컨버터의 입력 및 출력 전압을 측정하기 위한 ADC를 초기화 함
  - unsigned long adc\_read\_Vin(void) : Buck 컨버터의 입력 전압을 읽어옴
  - unsigned long adc\_read\_Vout(void) : Buck 컨버터의 출력 전압을 읽어옴
  - printf\_3dot3(unsigned long data) : 읽어온 전압을 단위에 맞게 Text LCD에 출력



# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

---

□ 구동 프로그램 : 사전지식

❖ pwm\_init() 함수

```
void pwm_init(void)
{
    DDRB |= 0x60;           // OCR1A, OCR1B 출력
    // PWM mode 14
    // 14.7456MHz
    TCCR1A = 0xB2;         //PWM, Fast PWM
    TCCR1B = 0x19;
    TCCR1C = 0x00;
}
```



**ICAT**

Integrated Circuits for Advanced Technology Lab.

# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

## □ 구동 프로그램 : 소스 분석

### ❖ DutyaFreq.c

1)	<pre>#include&lt;avr/io.h&gt; #include&lt;avr/interrupt.h&gt; #include &lt;util/delay.h&gt; #include "lcd.h"           // Text LCD 함수 선언 #include "buck.h"  unsigned long Buck_Vin, Buck_Vout;  int main(void){</pre>
2)	<pre>lcdInit();           // Text LCD 사용. SW_init();           // Push 스위치 사용.</pre>
3)	<pre>pwm_init();          // PWM 초기화. pwm_set(pwmF, pwmD); // PWM 주파수 듀티비 설정.</pre>
4)	<pre>adc_init();          // channel=ADC0</pre>
5)	<pre>pwm_init();          // PWM 초기화. pwm_set(pwmF, pwmD); // PWM 주파수 듀티비</pre>



# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

## □ 구동 프로그램 : 소스분석

### ❖ DutyaFreq.c

6)	<pre>lcdGotoXY(0,0); // 첫번째 줄, 첫번째 칸. lcdPrint("Vi:"); // "Vi:"를 디스플레이함(입력전압). lcdGotoXY(0,1); // 두번째 줄, 첫번째 칸. lcdPrint("Vo:"); // "Vo:"를 디스플레이함(출력전압). lcdGotoXY(8,0); // 첫번째 줄, 9번째 칸 lcdPrint(",F:"); // 주파수 lcdGotoXY(8,1); // 두번째 줄, 9번째 칸 lcdPrint(",D:"); // Duty sei(); // 전체 인터럽트 활성화.  while(1){</pre>
7)	<pre>pwm_set(1000*pwmF,10*pwmD); //주파수를 KHz 단위로 변환하기 위해 10^3를 // 곱하고, 듀티는 10을 곱한다.</pre>



# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

## □ 구동 프로그램 : 소스분석

### ❖ DutyaFreq.c

8)	<pre>Buck_Vin = adc_read_Vin(); // 입력 전압을 읽어온다. lcdGotoXY(3,0); // 첫번째 줄, 4번째 칸. printf_3dot3(Buck_Vin); // Buck 컨버터의 입력 전압을 디스플레이. Buck_Vout = adc_read_Vout(); // 출력 전압을 읽어온다. lcdGotoXY(3,1); // 두번째 줄, 4번째 칸. printf_3dot3(Buck_Vout); // Buck 컨버터의 출력 전압을 디스플레이.</pre>
9)	<pre>lcdGotoXY(11,0); // 첫번째 줄, 12번째 칸. lcdDataWrite('0'+(pwmF/10)); // Frequency lcdDataWrite('0'+(pwmF%10)); lcdDataWrite('K'); // K lcdDataWrite('h'); // h lcdDataWrite('z'); // z lcdGotoXY(11,1); // 두번째 줄, 12번째 칸. lcdDataWrite('0'+pwmD); // Duty lcdDataWrite('0'); // 0 lcdDataWrite('%'); // % _delay_ms(500); // 딜레이 500ms }}</pre>





# 실습 20 : Buck 컨버터 특성 실습

## □ 실행 결과

- ❖ Push Button 모듈의 '1' 번 스위치는 주파수 증가, '2' 번 스위치는 주파수 감소이며 버튼을 누를 때마다 1kHz씩 변화한다.
- ❖ '3' 번 스위치는 듀티비 증가, '4' 번 스위치는 듀티비 감소이며 버튼을 누를 때마다 10%씩 변화한다.

