

2018年度後期火曜2講時

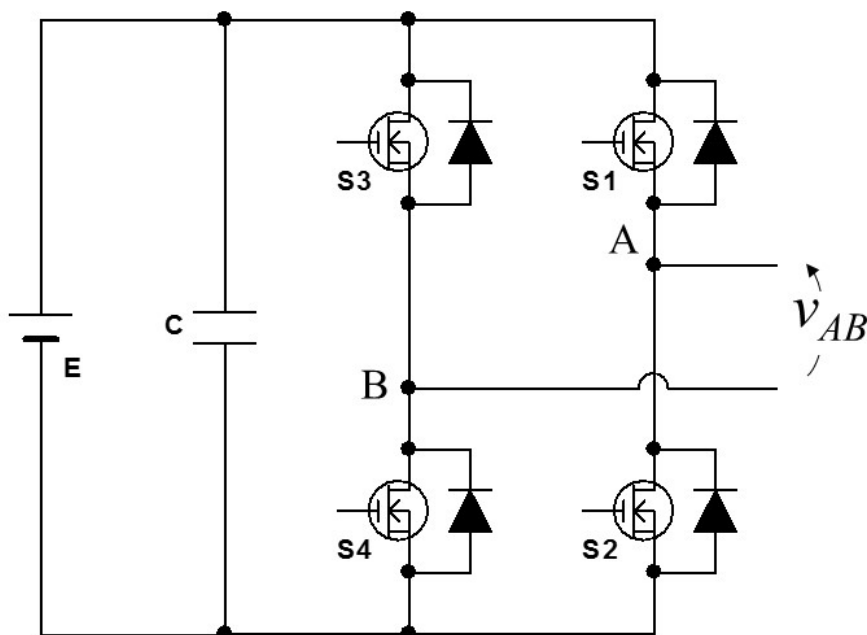
# パワーエレクトロニクス (第11回目)

電気電子工学科  
鵜野 将年

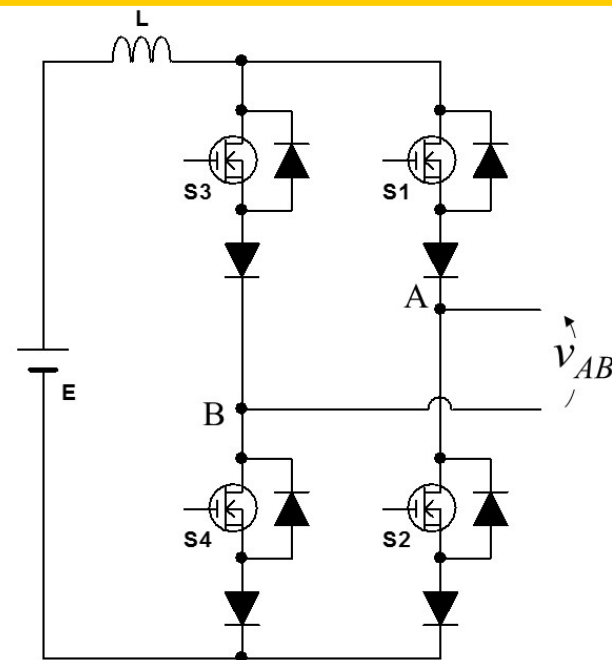
## この授業のポイント

- インバータの種類
  - ✓ 電圧形と電流形
  - ✓ 単相と3相
- インバータの構成
  - ✓ アームとレグ
  - ✓ ハーフブリッジとフルブリッジ
- インバータの動作モード
  - ✓ レグの出力電圧
  - ✓ インバータの出力電圧と位相差による依存性

# インバータの種類—電圧形と電流形



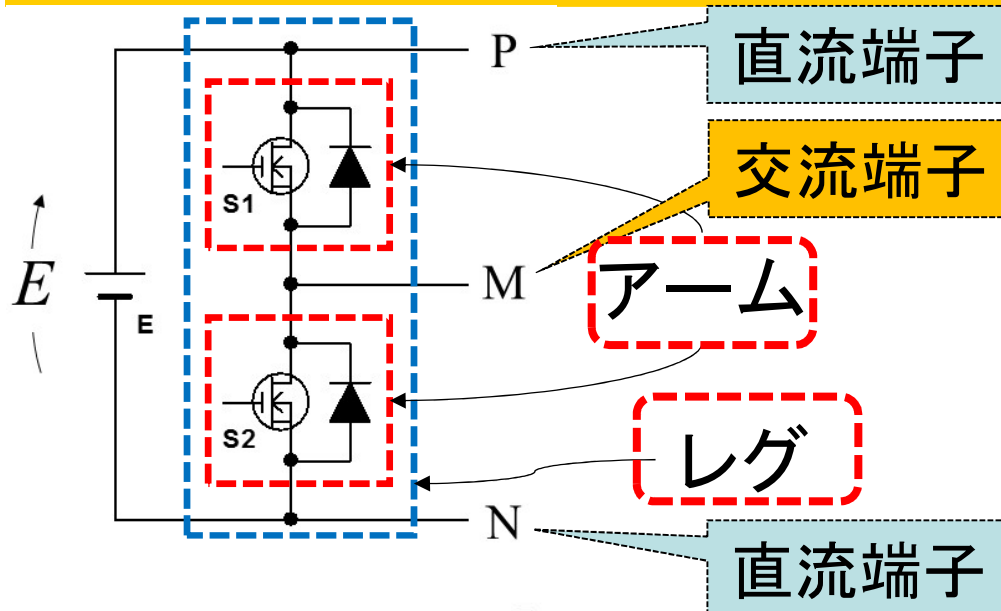
電圧形インバータ



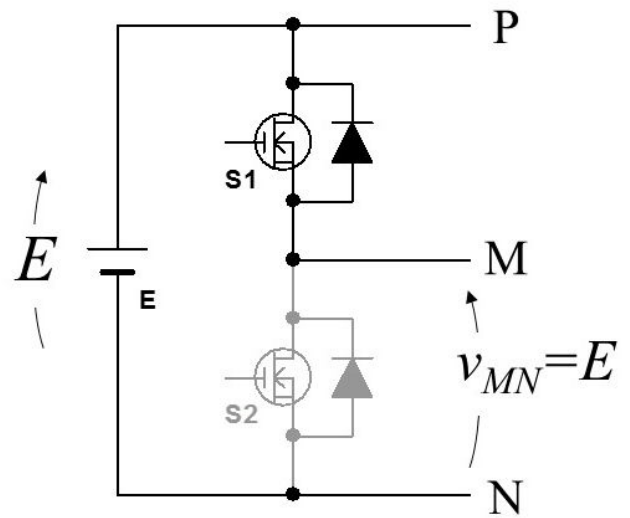
電流形インバータ

- 電圧形は電源と並列にコンデンサを接続し、電圧源特性を実現
- 電流形は電源と直列にインダクタを接続し、電流源特性を実現
- 電流形はインダクタが大きい、逆阻止能力を持つデバイスが一般的ではない、等の理由から用途は限られる

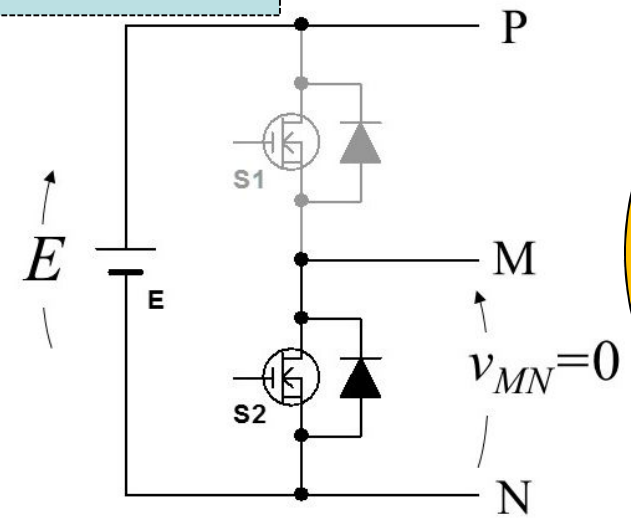
# インバータの基本回路(電圧形インバータの場合)



- **アーム**・・・スイッチと逆並列にダイオードを接続(誘導性負荷では負荷側から直流電源側に電流が戻る状態が生じるため)
- **レグ**・・・交流の1相分を構成するアーム群



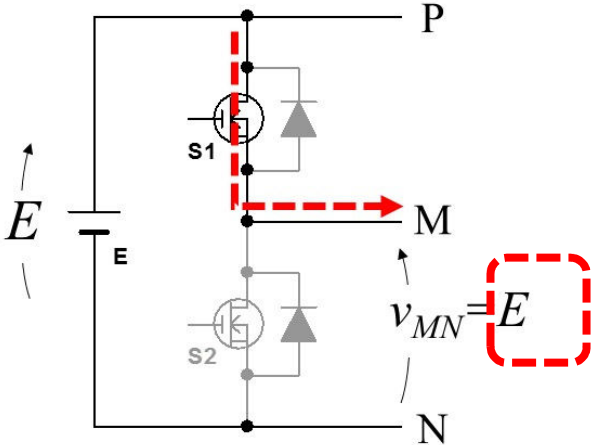
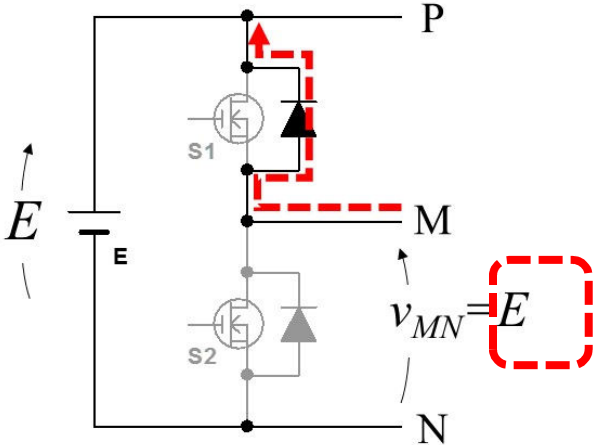
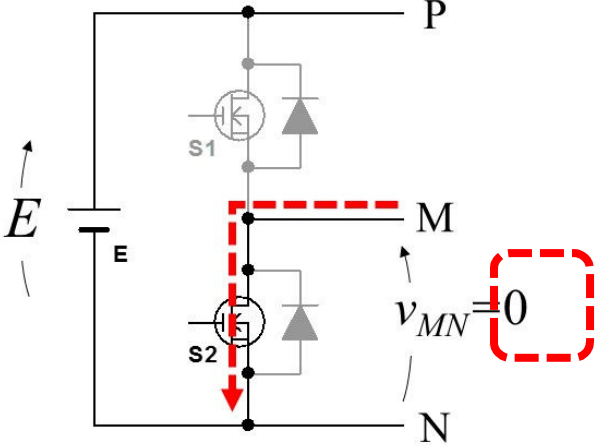
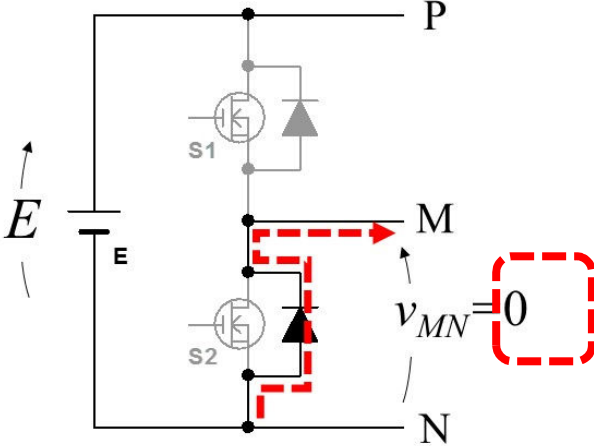
出力電圧  $v_{MN} = E$



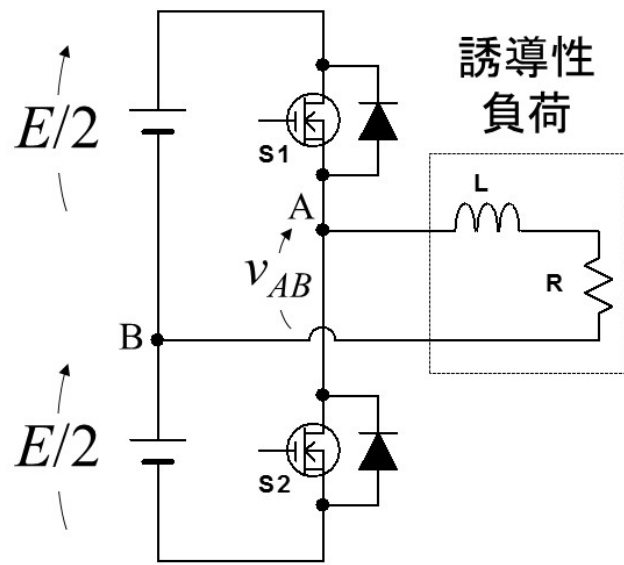
出力電圧  $v_{MN} = 0$

Mの電位はスイッチの状態に応じて変動する

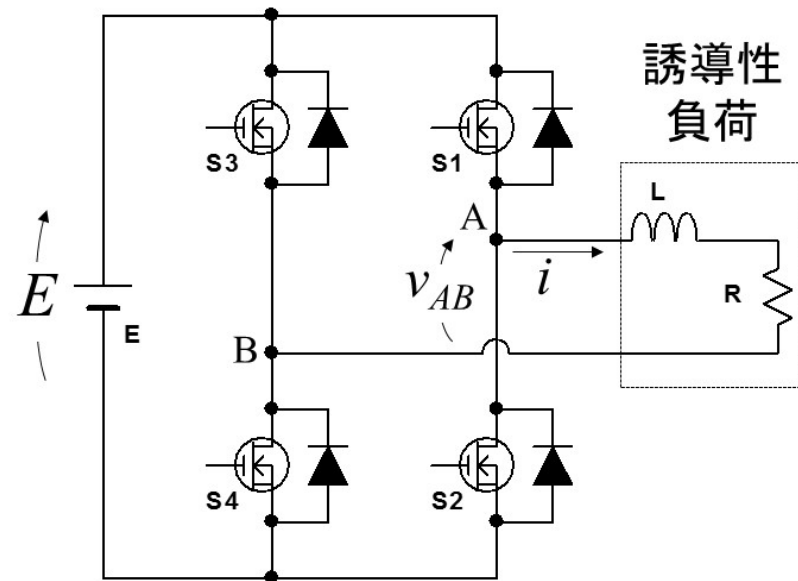
# インバータの電流経路(1レグ分)

	スイッチ通過	逆並列ダイオード通過
上アーム 導通	 <p>スイッチ通過</p> <p><math>v_{MN} = E</math></p>	 <p>逆並列ダイオード通過</p> <p><math>v_{MN} = E</math></p>
下アーム 導通	 <p>スイッチ通過</p> <p><math>v_{MN} = 0</math></p>	 <p>逆並列ダイオード通過</p> <p><math>v_{MN} = 0</math></p>

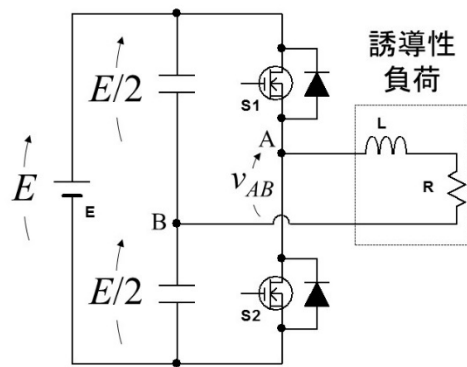
# インバータの種類—ハーフブリッジとフルブリッジ



ハーフブリッジインバータ



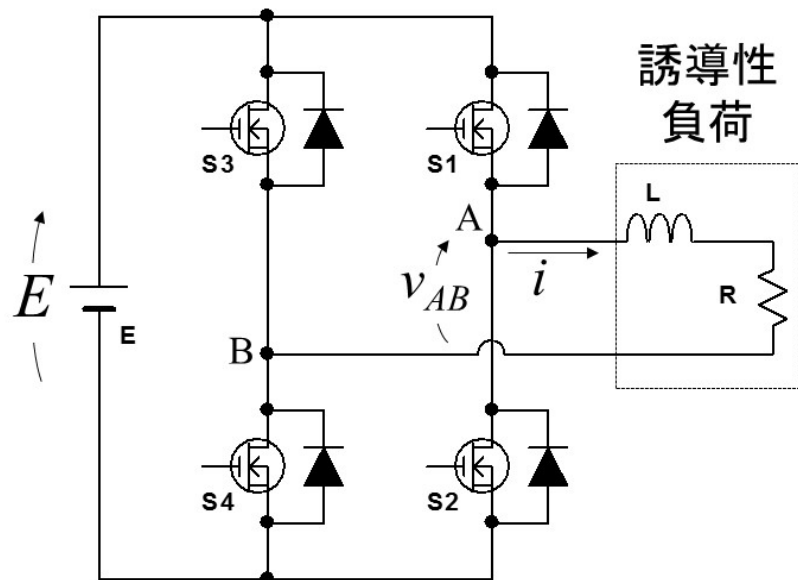
フルブリッジインバータ



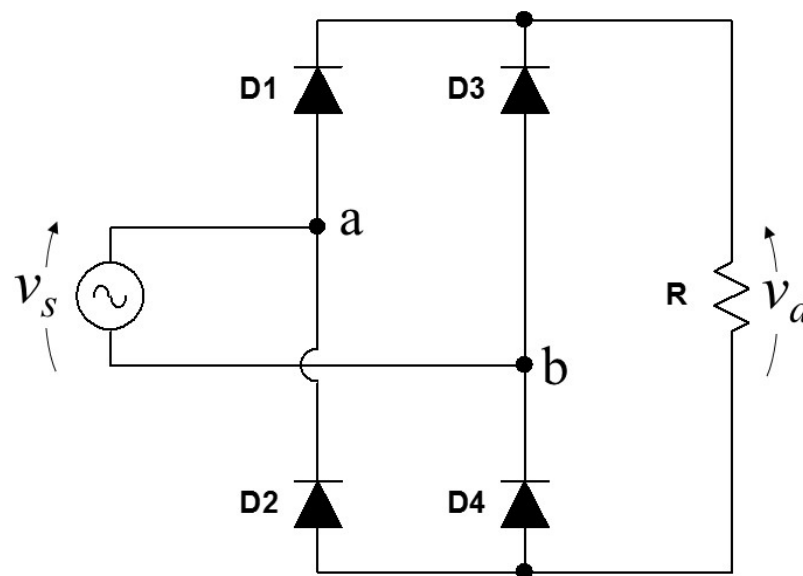
ハーフブリッジインバータの実際

- ハーフブリッジインバータの出力電圧  $v_{AB} = \pm E/2$
- フルブリッジインバータの出力電圧  $v_{AB} = \pm E$

# インバータと整流回路の関係



フルブリッジインバータ



単相全波整流回路

インバータ

アーム(スイッチ)

電源E

誘導性負荷

⇔

⇔

⇔

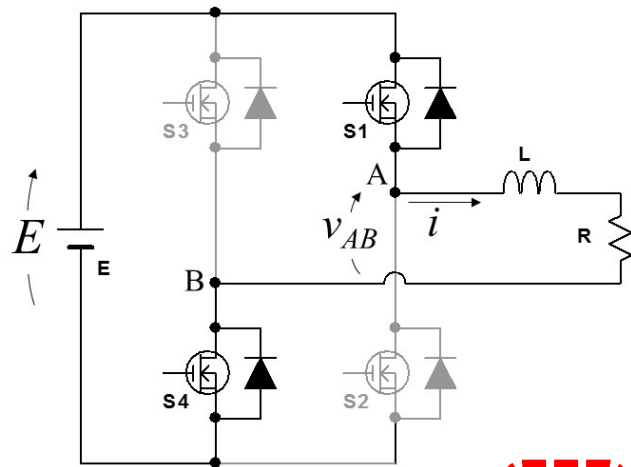
全波整流回路

ダイオード

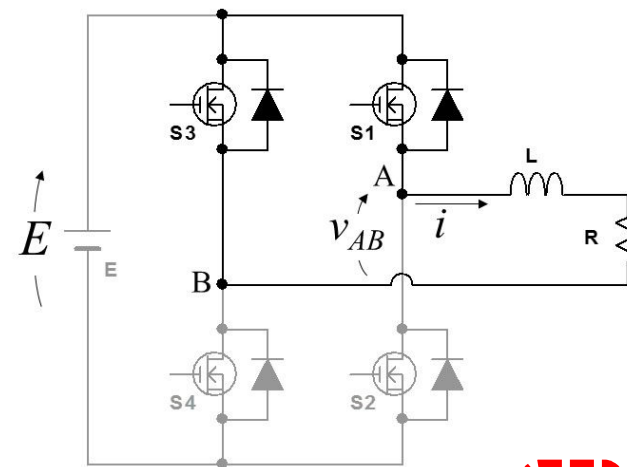
負荷

交流電源

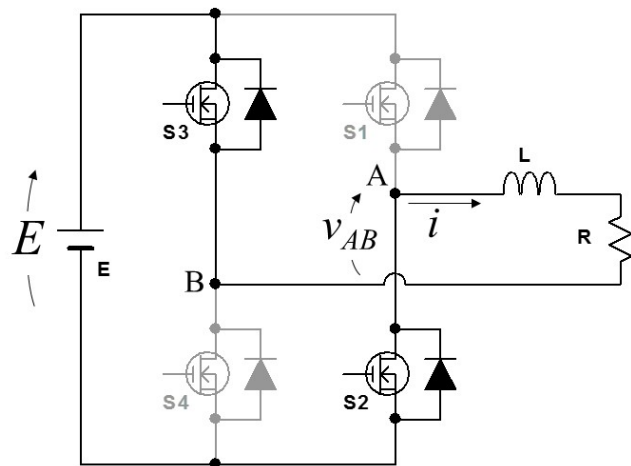
# 電圧形フルブリッジインバータの動作モード



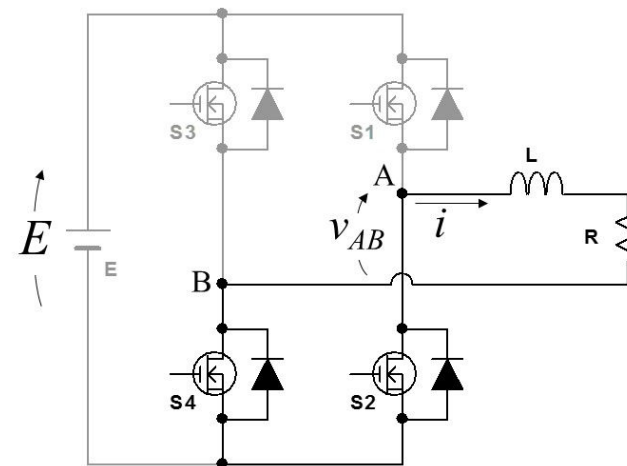
Mode A,  $v_{AB} = E$



Mode B,  $v_{AB} = 0$



Mode C,  $v_{AB} = -E$



Mode D,  $v_{AB} = 0$

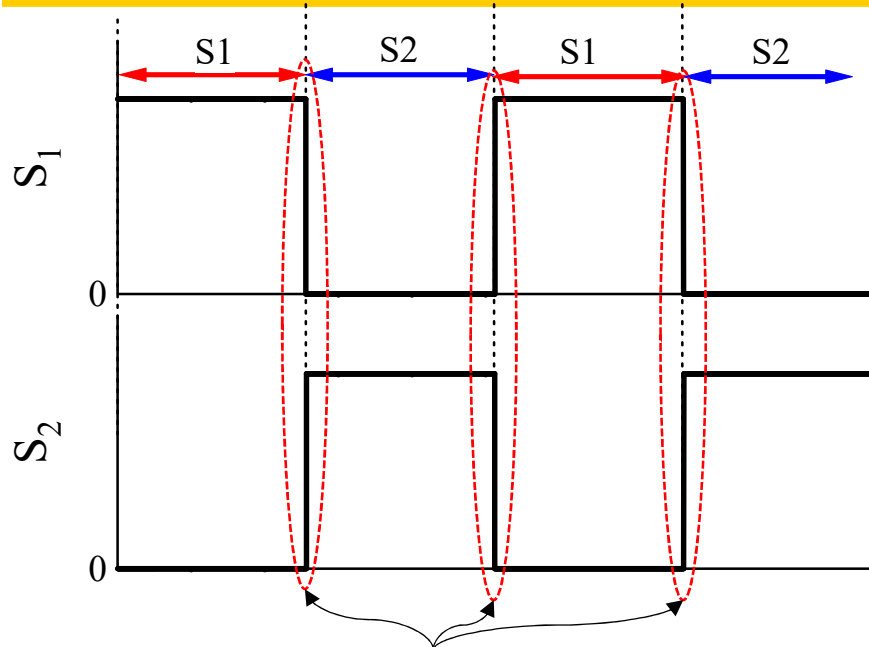


# 電圧形フルブリッジインバータの動作モード

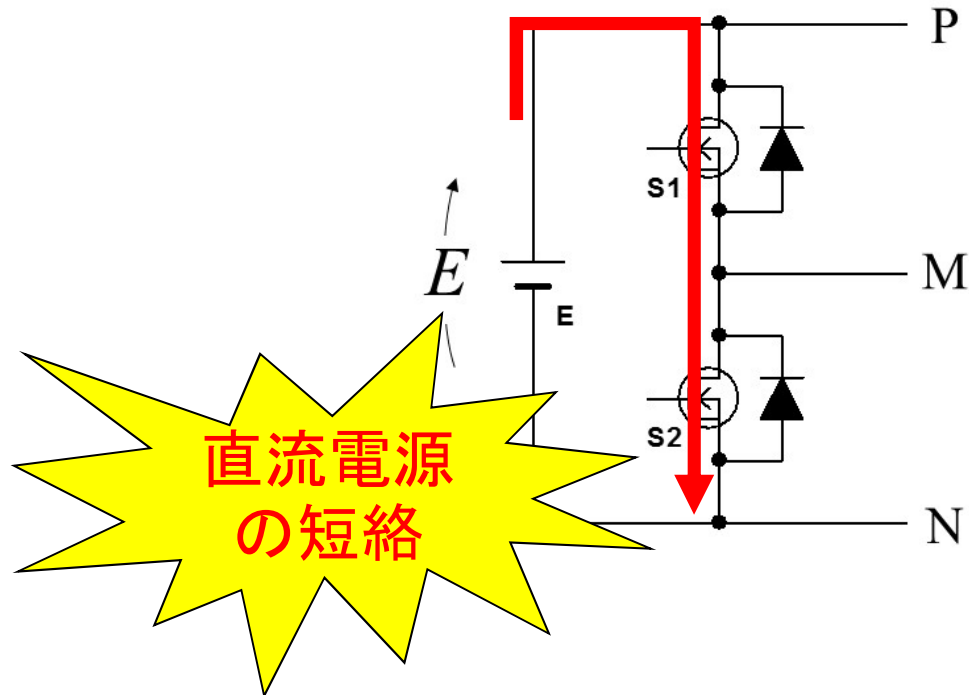
Mode	右のレグ		左のレグ		出力電圧 $v_{AB}$
	Q1	Q2	Q3	Q4	
A	ON	OFF	OFF	ON	$E$
B	ON	OFF	ON	OFF	0
C	OFF	ON	ON	OFF	$-E$
D	OFF	ON	OFF	ON	0

- 同一レグ内のスイッチを同時にオンしてはいけない(直流電源が短絡される)
- 4つのモードを切り換え動作させることで出力電圧の極性を正負に変化させることができ、周波数と振幅が可変の交流電圧波形を得ることができる
- 2つのレグの動作に位相差を持たせる必要あり

# デッドタイム



上下のスイッチが瞬時的に同時オン



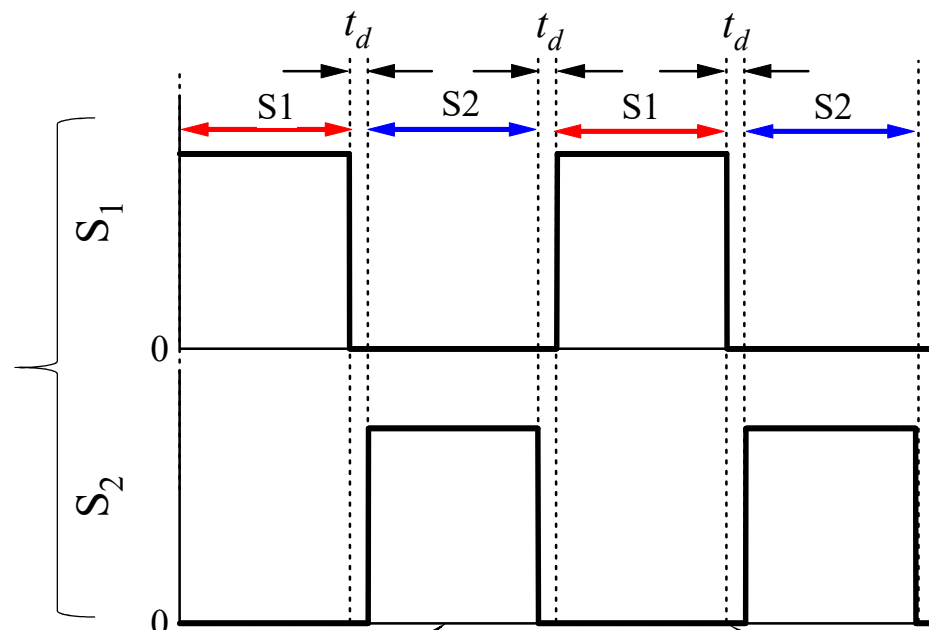
## IGBT(2MBI100VA-060-50)のデータシート

- スイッチはオフするのに有限の時間を要する(特にIGBTは時間がかかる)
- 上下のスイッチが瞬時的に同時オンし、過大な短絡電流が流れて回路が破壊される

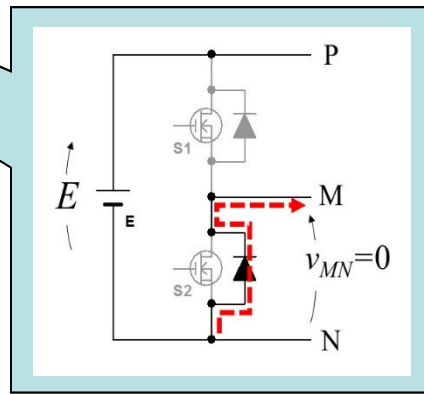
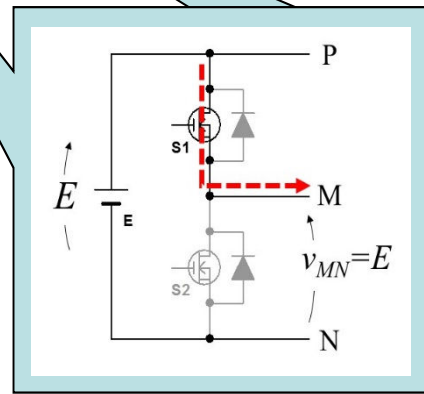
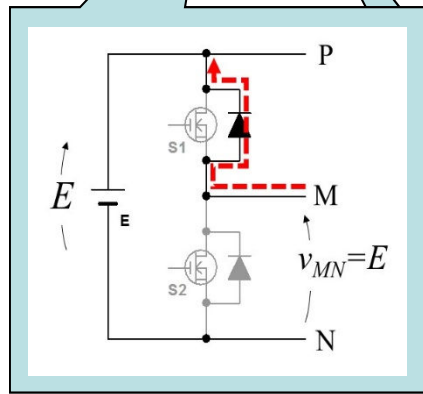
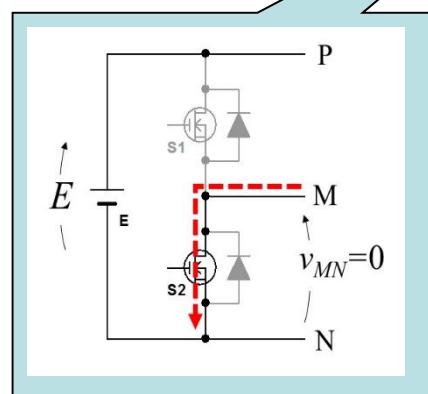
Items	Symbols	Conditions	Characteristics			Units	
			min.	typ.	max.		
Zero gate voltage collector current	$I_{CES}$	$V_{GE} = 0V, V_{CE} = 600V$	-	-	1.0	mA	
Gate-Emitter leakage current	$I_{GES}$	$V_{CE} = 0V, V_{GE} = \pm 20V$	-	-	200	nA	
Gate-Emitter threshold voltage	$V_{GE(th)}$	$V_{CE} = 20V, I_c = 100mA$	6.2	6.7	7.2	V	
Collector-Emitter saturation voltage	$V_{CE(sat)}$ (terminal)	$V_{GE} = 15V$ $I_c = 100A$	$T_j = 25^\circ C$	-	1.70	2.15	V
			$T_j = 125^\circ C$	-	2.00	-	
			$T_j = 150^\circ C$	-	2.20	-	
$V_{CE(sat)}$ (chip)	$V_{GE} = 15V$ $I_c = 100A$	$T_j = 25^\circ C$	-	1.60	2.05	V	
		$T_j = 125^\circ C$	-	1.90	-		
		$T_j = 150^\circ C$	-	2.10	-		
Internal gate resistance	$R_{G(int)}$	-	-	9	-	$\Omega$	
Input capacitance	$C_{ies}$	$V_{CE} = 10V, V_{GE} = 0V, f = 1MHz$	-	6.4	-	nF	
Turn-on time	$t_{on}$	$V_{CC} = 300V$ $I_c = 100A$ $L_s = 30nH$	-	650	-	nsec	
	$t_r$	$V_{GE} = \pm 15V$ $R_G = 13\Omega$ $T_j = 150^\circ C$	-	300	-		
Turn-off time	$t_{off}$	$R_G = 13\Omega$ $T_j = 150^\circ C$	-	100	-	nsec	
	$t_f$	$T_j = 150^\circ C$	-	600	-		
Forward on voltage	$V_F$ (terminal)	$V_{GE} = 0V$ $I_F = 100A$	$T_j = 25^\circ C$	-	1.65	2.10	V
			$T_j = 125^\circ C$	-	1.55	-	
	$T_j = 150^\circ C$	-	1.52	-			
	$T_j = 25^\circ C$	-	1.60	2.05			
$V_F$ (chip)	$V_{GE} = 0V$ $I_F = 100A$	$T_j = 25^\circ C$	-	1.50	-		
		$T_j = 125^\circ C$	-	1.50	-		
Reverse recovery time	$t_{rr}$	$I_F = 100A$	-	200	-	nsec	

# デッドタイム

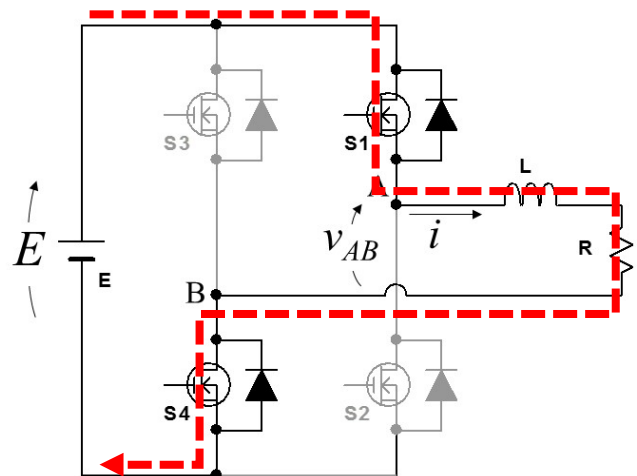
スイッチの駆動信号  
(交流端子の電圧ではない)



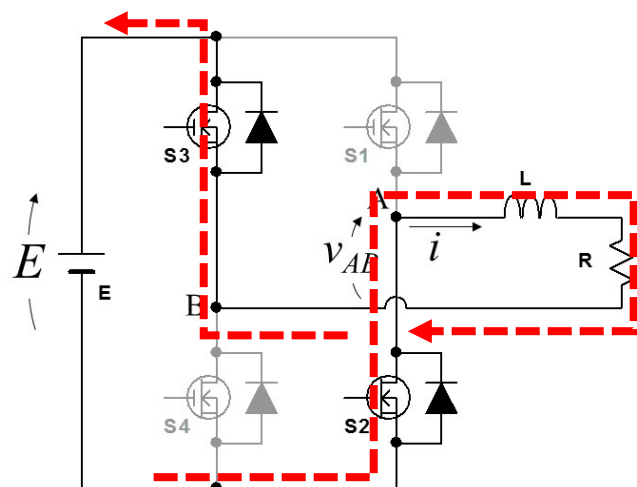
- デッドタイム ( $t_d$ ) と呼ばれる **むだ時間** を挿入して直流電源の短絡を防止
- デッドタイム期間中は **逆並列ダイオード** が導通



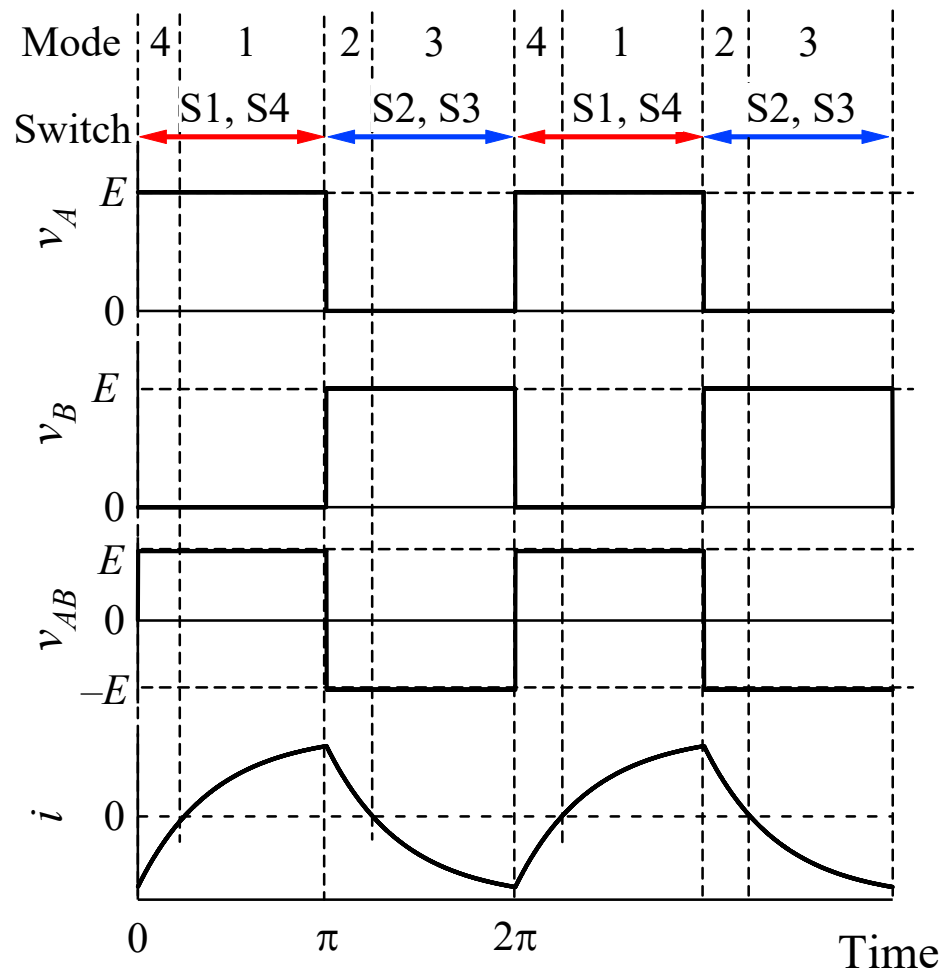
# インバータの基本的動作モード(位相差180°)



Mode 1

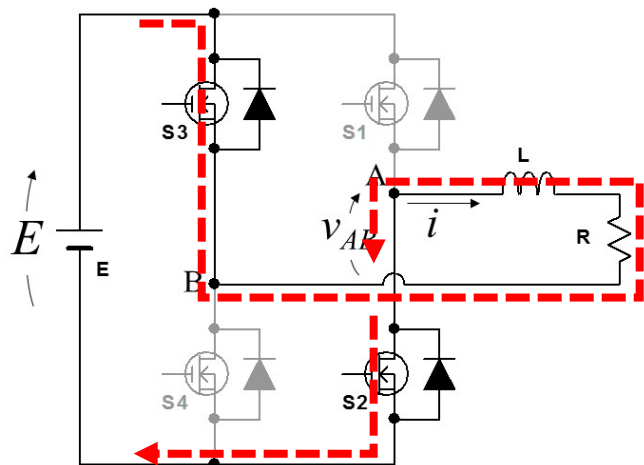


Mode 2

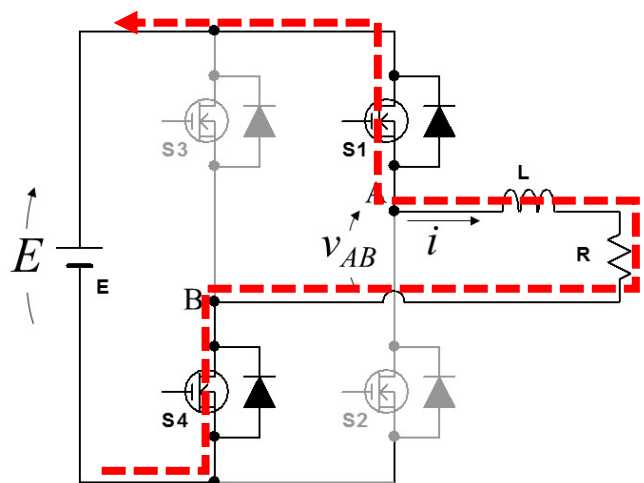


$\tau = L/R = T_{SW}/4$ の場合

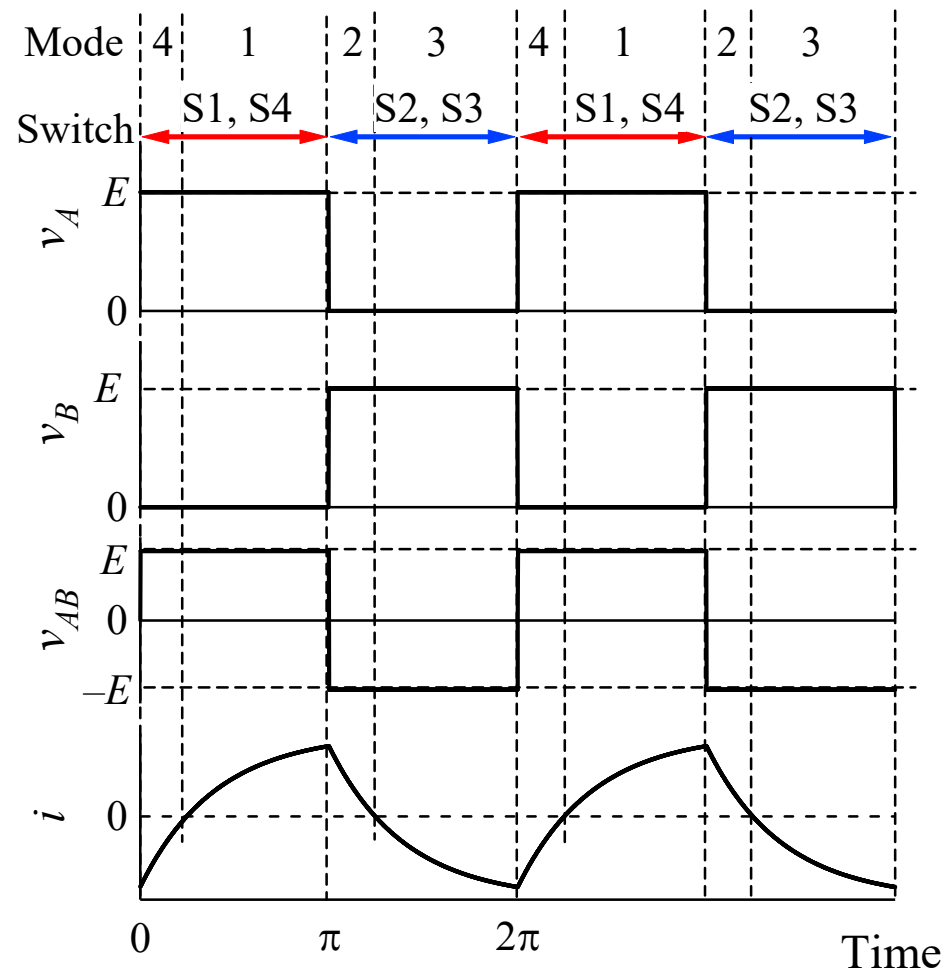
# インバータの基本的動作モード(位相差180°)



Mode 3

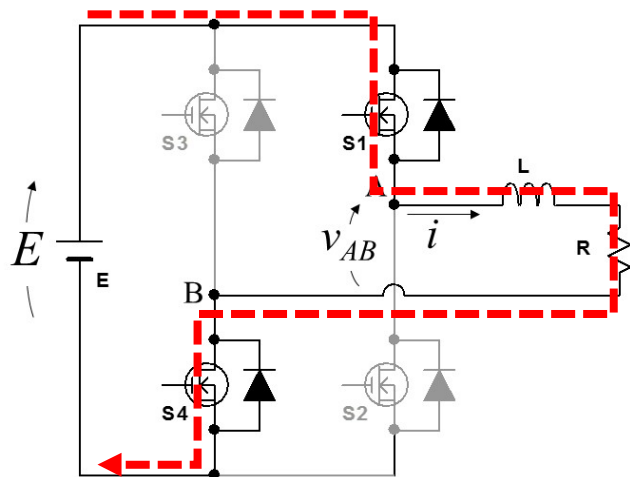


Mode 4

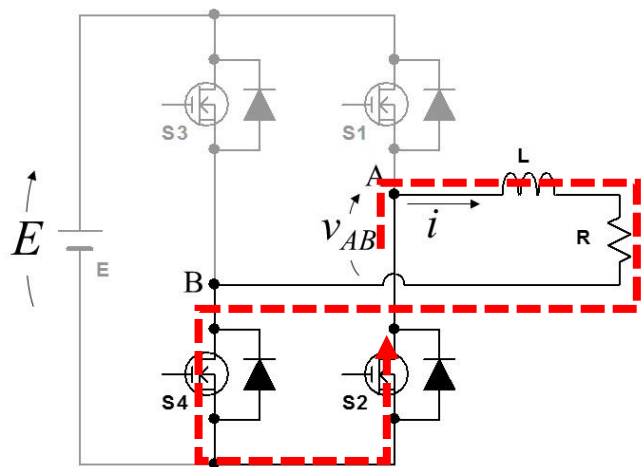


$\tau = L/R = T_{SW}/4$ の場合

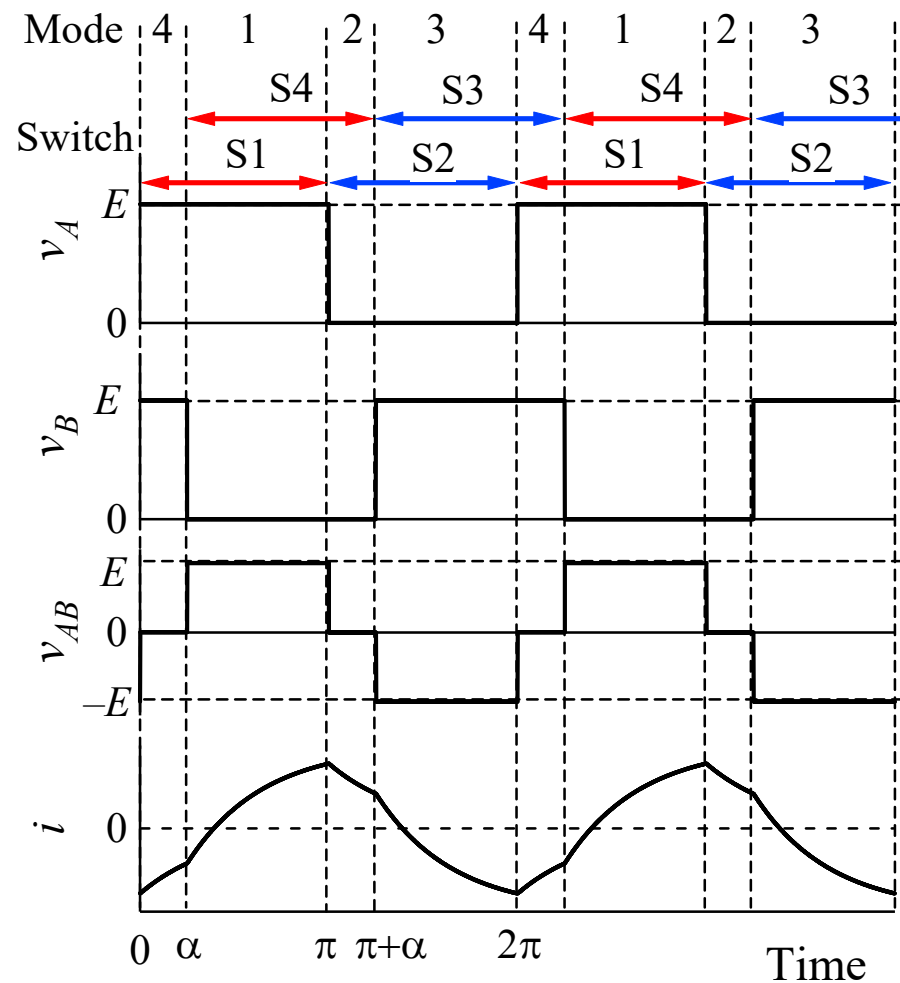
# インバータの基本的動作モード(位相差 $225^\circ$ )



Mode 1 ( $i > 0$ の場合の経路)

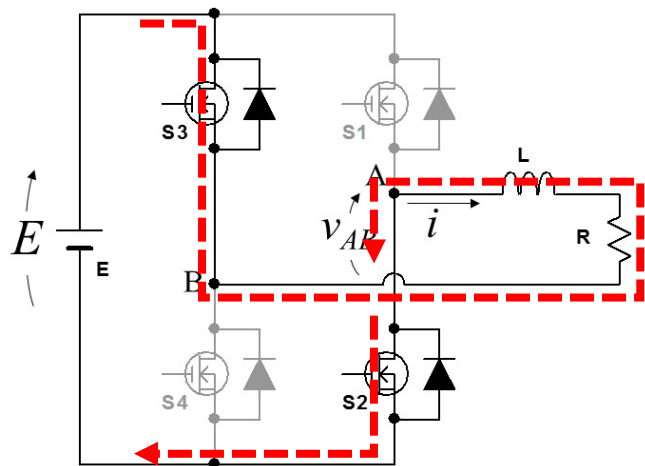


Mode 2

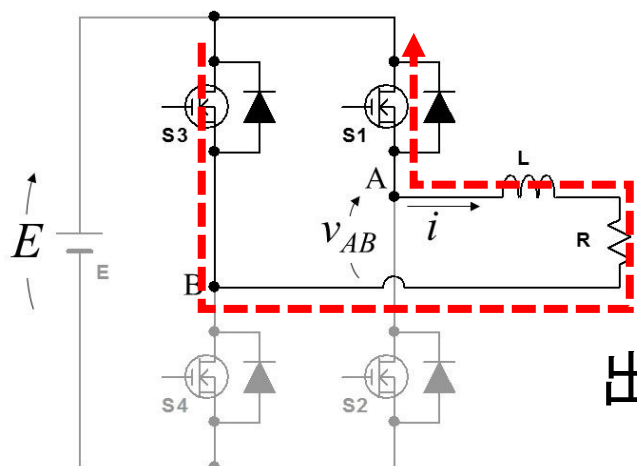


$\tau = L/R = T_{SW}/4$ の場合  
 $\alpha = 45^\circ$

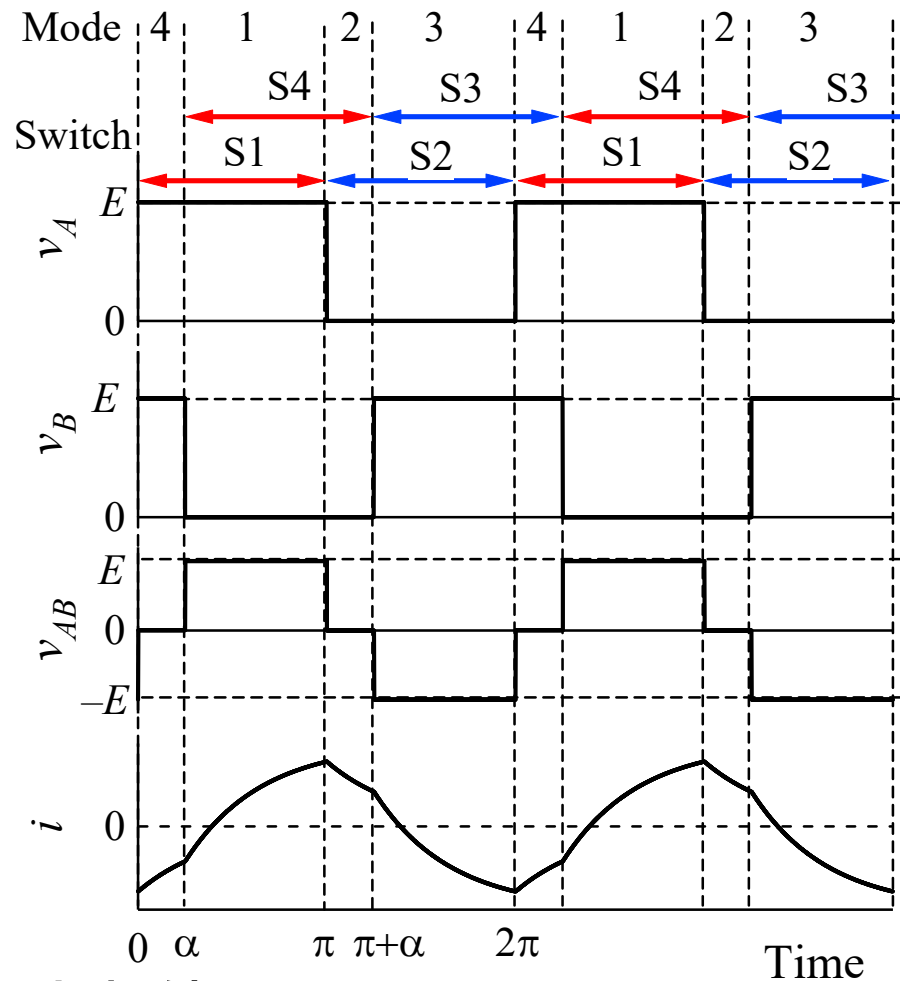
# インバータの基本的動作モード(位相差 $225^\circ$ )



Mode 3 ( $i < 0$ の場合の経路)



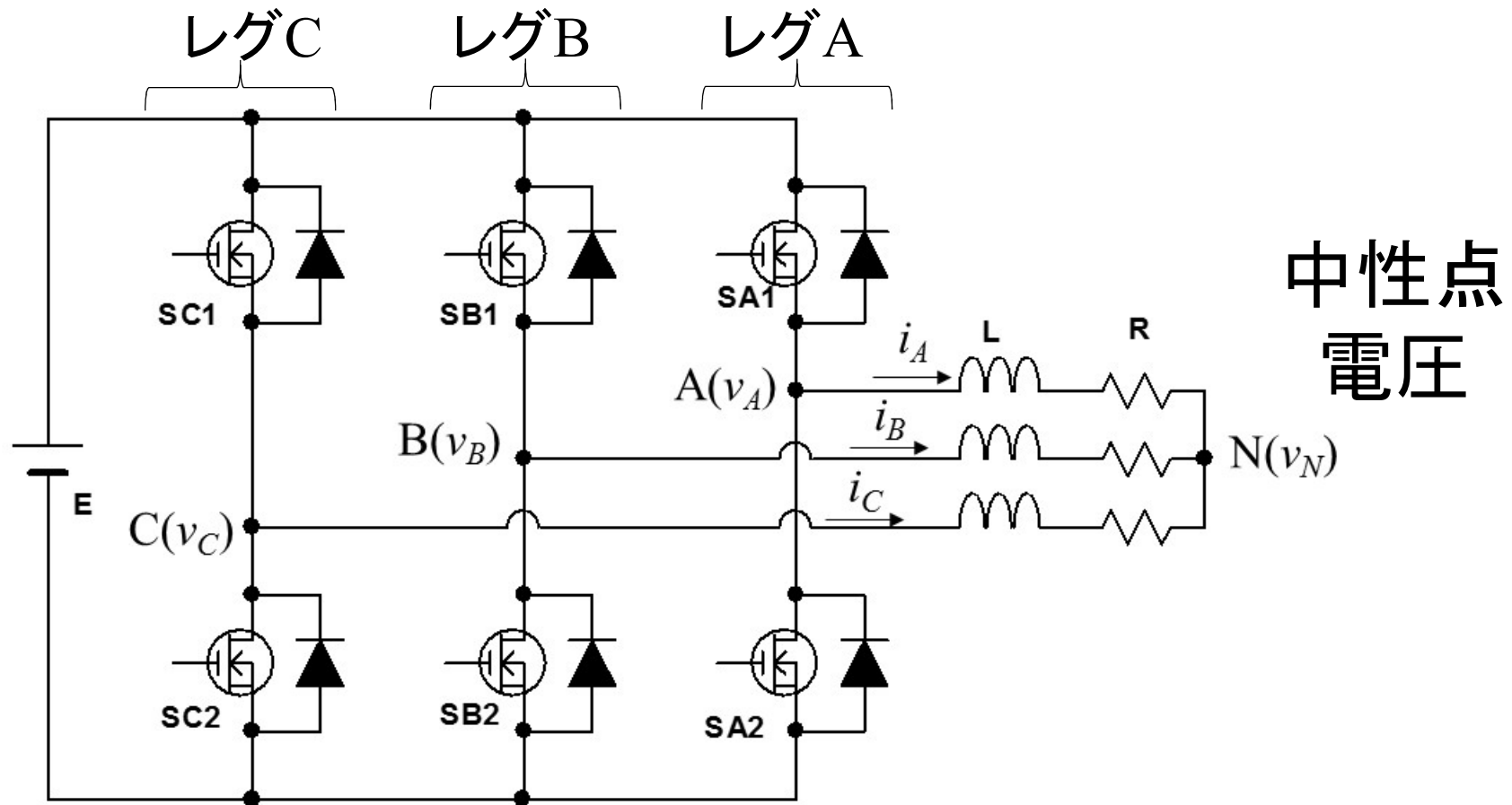
Mode 4



出力電圧の実効値

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} E^2 d\omega t} = \sqrt{\frac{\pi - \alpha}{\pi}} E$$

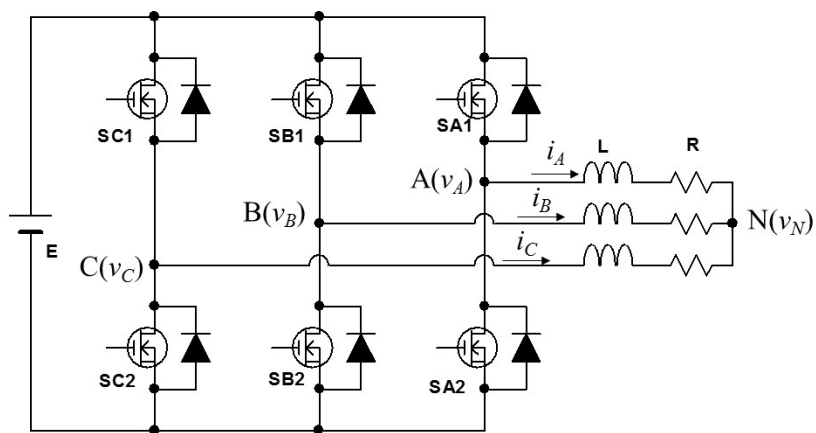
# 3相電圧形インバータの回路構成



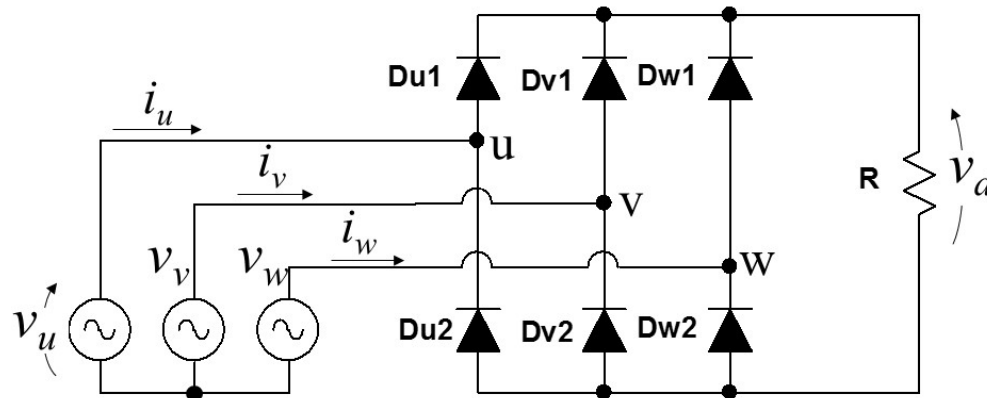
3つのレグの動作を1/3周期 (120°) づつずらす  
(2つのレグでは1/2周期 (180°))



# 3相インバータと三相全波整流回路の関係



3相インバータ



3相全波整流回路

インバータ

アーム(スイッチ)

電源E

誘導性負荷

全波整流回路

⇔ ダイオード

⇔ 負荷

⇔ 交流電源

## 3相電圧形インバータの動作

各相についての回路方程式

$$\begin{cases} v_A - v_N = Ri_A + L \frac{di_A}{dt} \\ v_B - v_N = Ri_B + L \frac{di_B}{dt} \\ v_C - v_N = Ri_C + L \frac{di_C}{dt} \end{cases}$$

3つの式を足し合わせて、

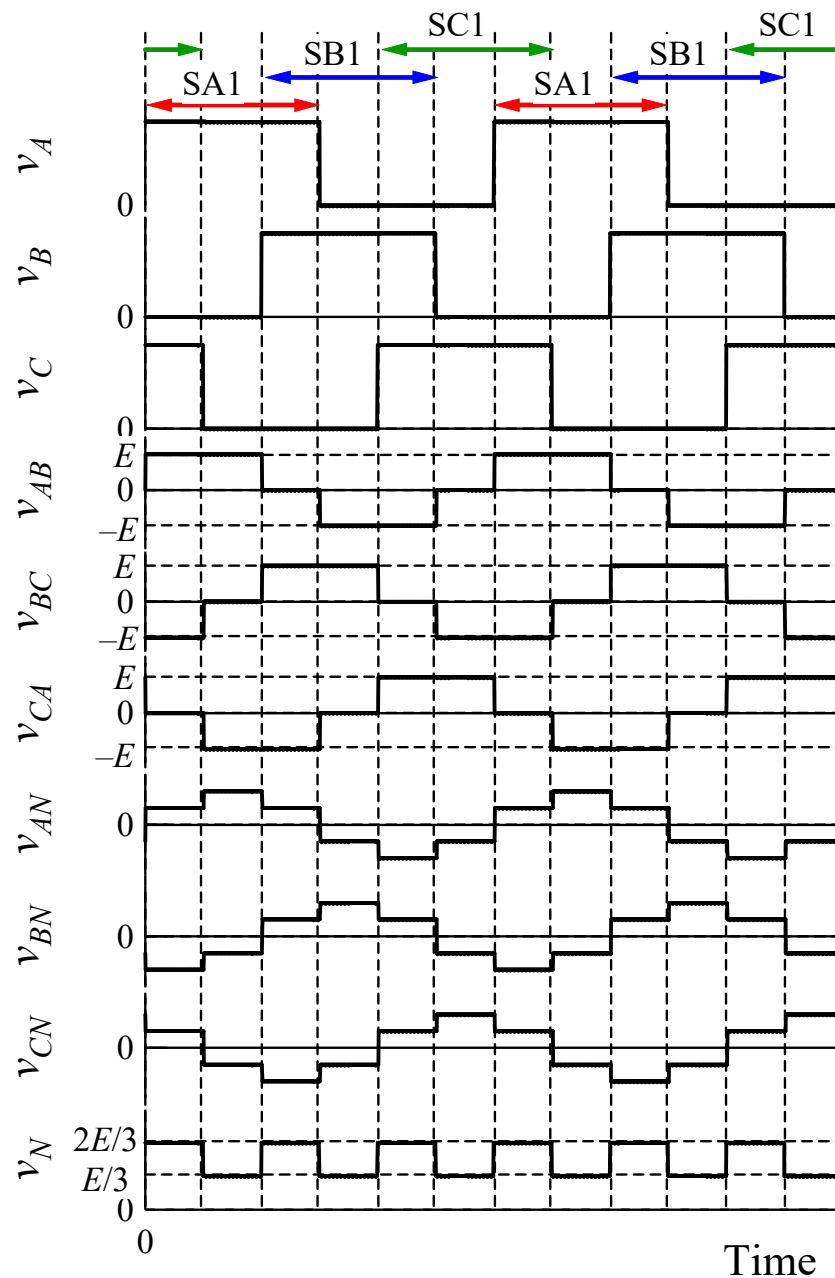
$$v_A + v_B + v_C - 3v_N = R(i_A + i_B + i_C) + L \left( \frac{di_A}{dt} + \frac{di_B}{dt} + \frac{di_C}{dt} \right)$$

3相3線式の負荷であるため、中性点電圧 $v_N$ は $i_A + i_B + i_C = 0$ より、

$$v_N = \frac{1}{3} (v_A + v_B + v_C)$$

# 3相電圧形インバータの動作波形

- 3つのレグの動作を 1/3 周期 (120°) づつずらす
- 中性点電圧  $v_N$  は周波数が出力電圧基本波の 3倍 の方形波になる



# まとめ

- インバータの基本回路・・・アームとレグ
- 電圧形フルブリッジインバータでは動作モードに応じて  $E$ ,  $0$ ,  $-E$ の電圧を出力できる
- レグの短絡防止のためにデッドタイムが必要
- レグ動作に位相差をもたせることで出力電圧実効値を可変することができる
- 3相インバータでは3つのレグの動作を $120^\circ$ づつずらす

