

# 新構成AC-DC変換回路の検討

◎ 邢 林, 高 虹, 小堀康功(群馬大学)  
岡本直久, 大島正樹 (ニチコン),  
若林和行, 岡田考志, 小野澤昌徳,  
小林春夫, 高井伸和, 新津葵一  
(群馬大学)

# OUTLINE

---

- 研究背景
- 新提案1  
昇降圧-昇降圧電源使用AC-DC変換器
- 新提案2  
Hブリッジ AC-DC変換器
- まとめ

# OUTLINE

- 研究背景

- 新提案1

  - 昇降圧-昇降圧電源使用AC-DC変換器

- 新提案2

  - Hブリッジ AC-DC変換器

- まとめ

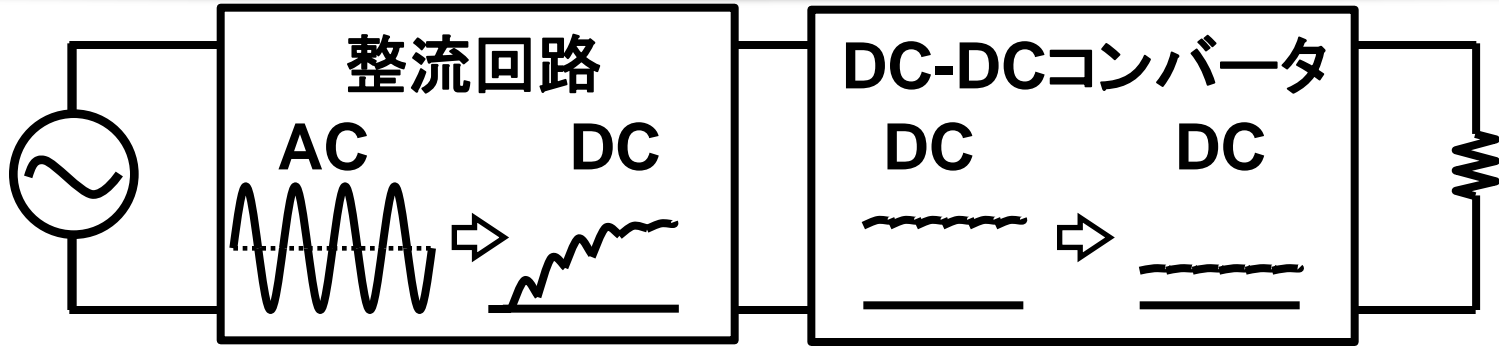
# 研究背景



# 研究目的

- 従来AC-DC変換器での問題点：  
多段縦続接続回路構成のため
    - 低変換効率
    - 高コスト
  - 本研究の目的：  
ACからDCへ直接1段で電圧変換
    - 高変換効率
    - 低コスト
- 新AC-DC 変換回路を提案・検討する。

# 研究のアプローチ

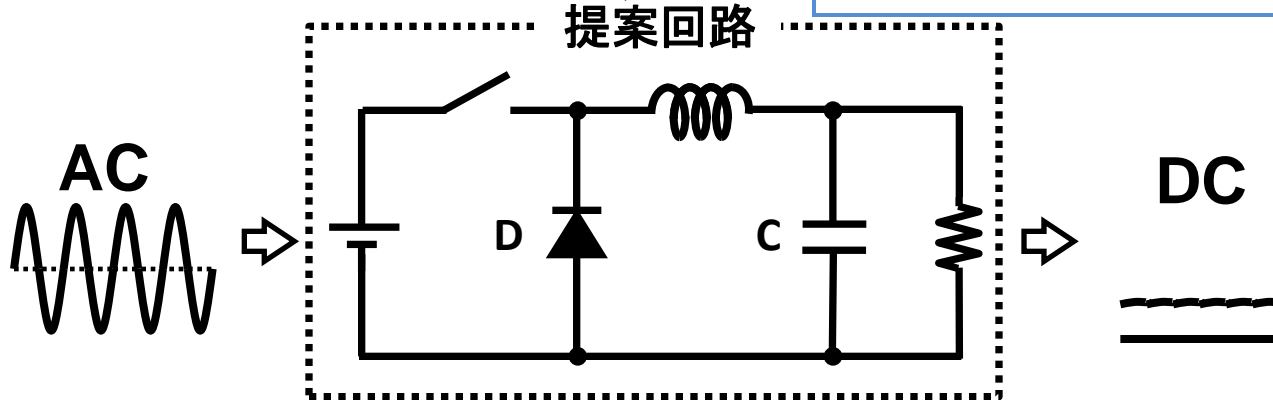


従来回路

{ 多段回路: 低変換効率 ☹️  
回路面積大: 高コスト



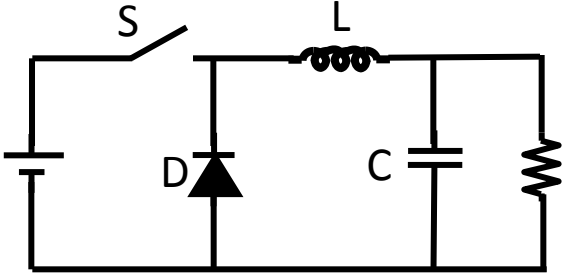
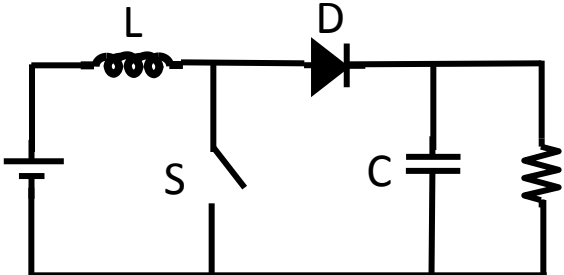
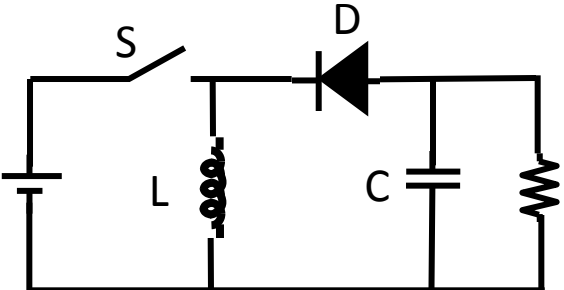
DC-DCコンバータの原理を  
AC-DCコンバータに応用



提案回路

{ 1段回路: 高変換効率 ☺️  
回路面積小: 低コスト

# 基本的なスイッチング電源

名称	回路構成	特徴
降压型		入力電圧より低い電圧を発生
昇圧型		入力電圧より高い電圧を発生
昇降圧型		入力電圧の昇圧と降圧が両方が可能。入力電圧と出力電圧の方向が逆です。

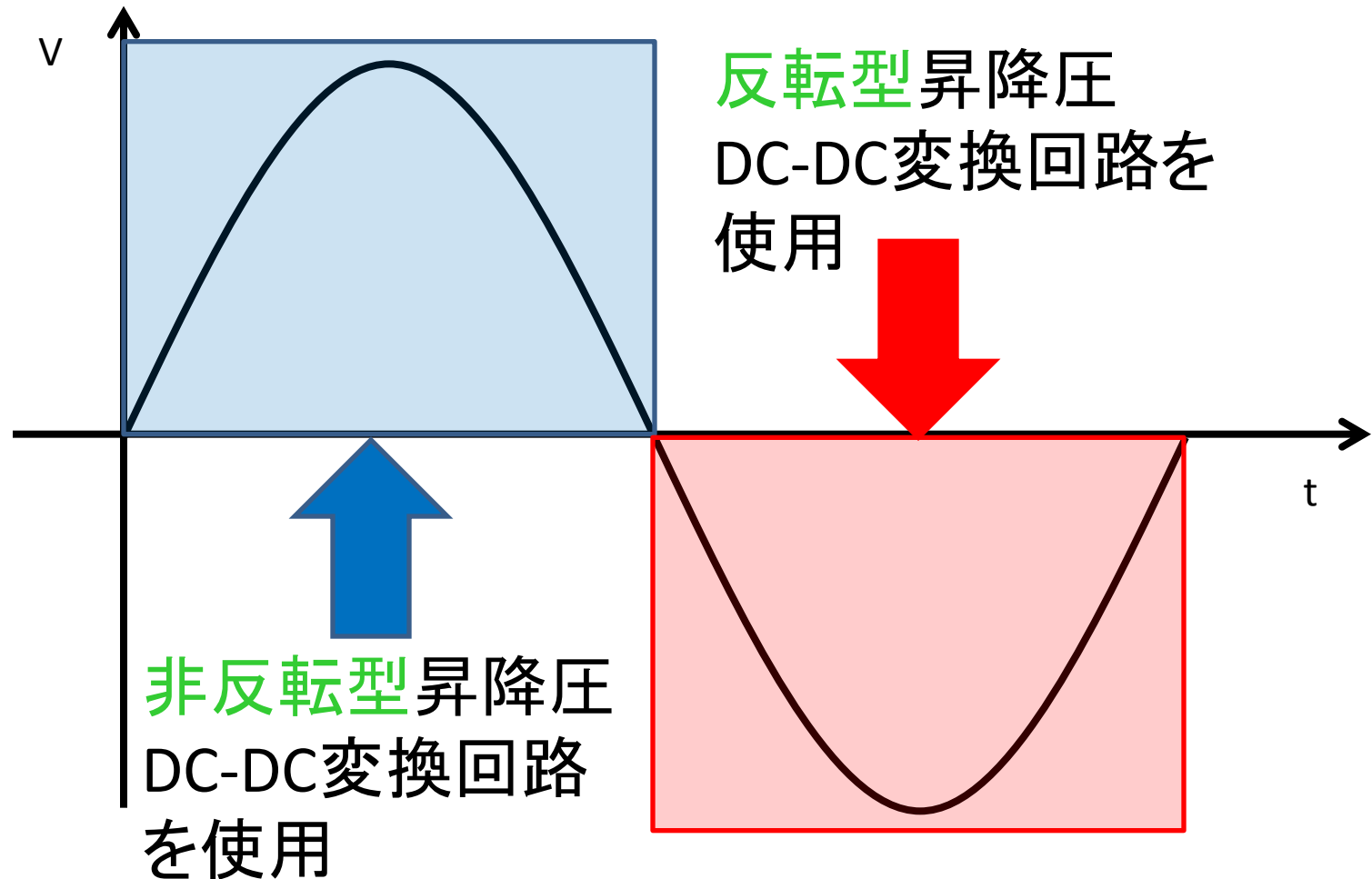
# OUTLINE

- 研究背景
- 新提案1  
昇降圧-昇降圧電源使用AC-DC変換器
- 新提案2  
Hブリッジ AC-DC変換器
- まとめ

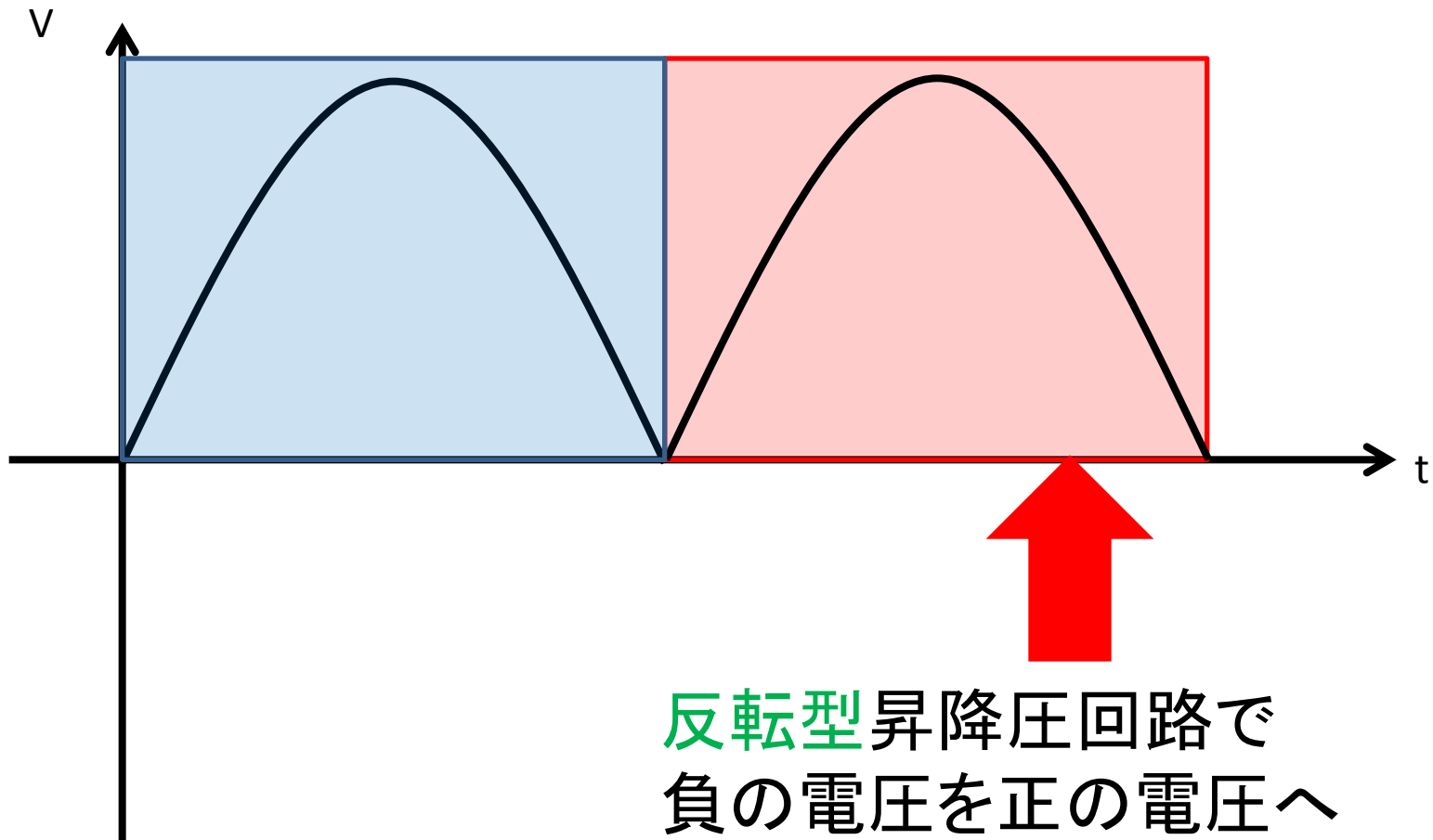


# 提案1の構成の原理(1)

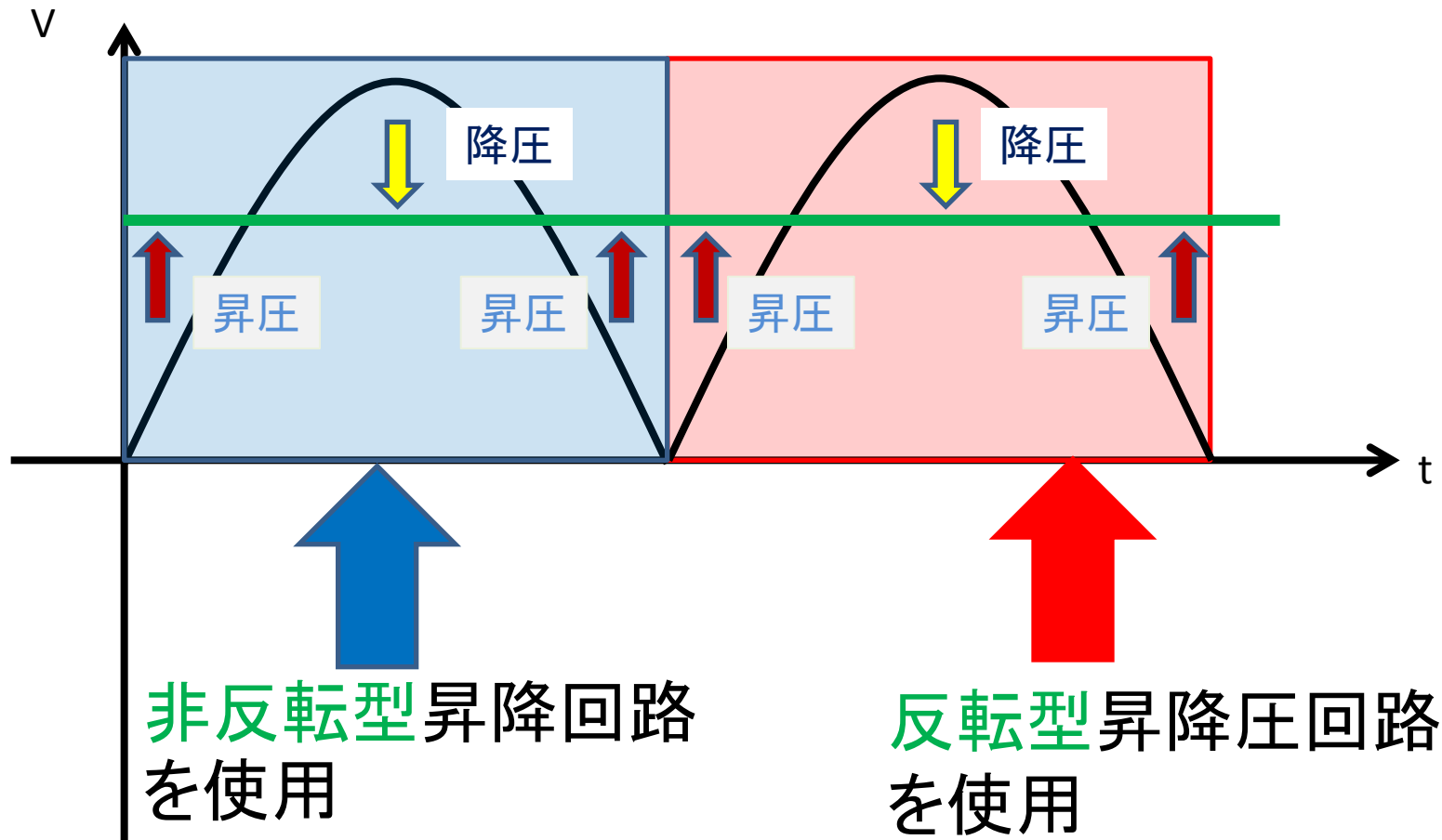
AC入力電圧からDC出力電圧を生成



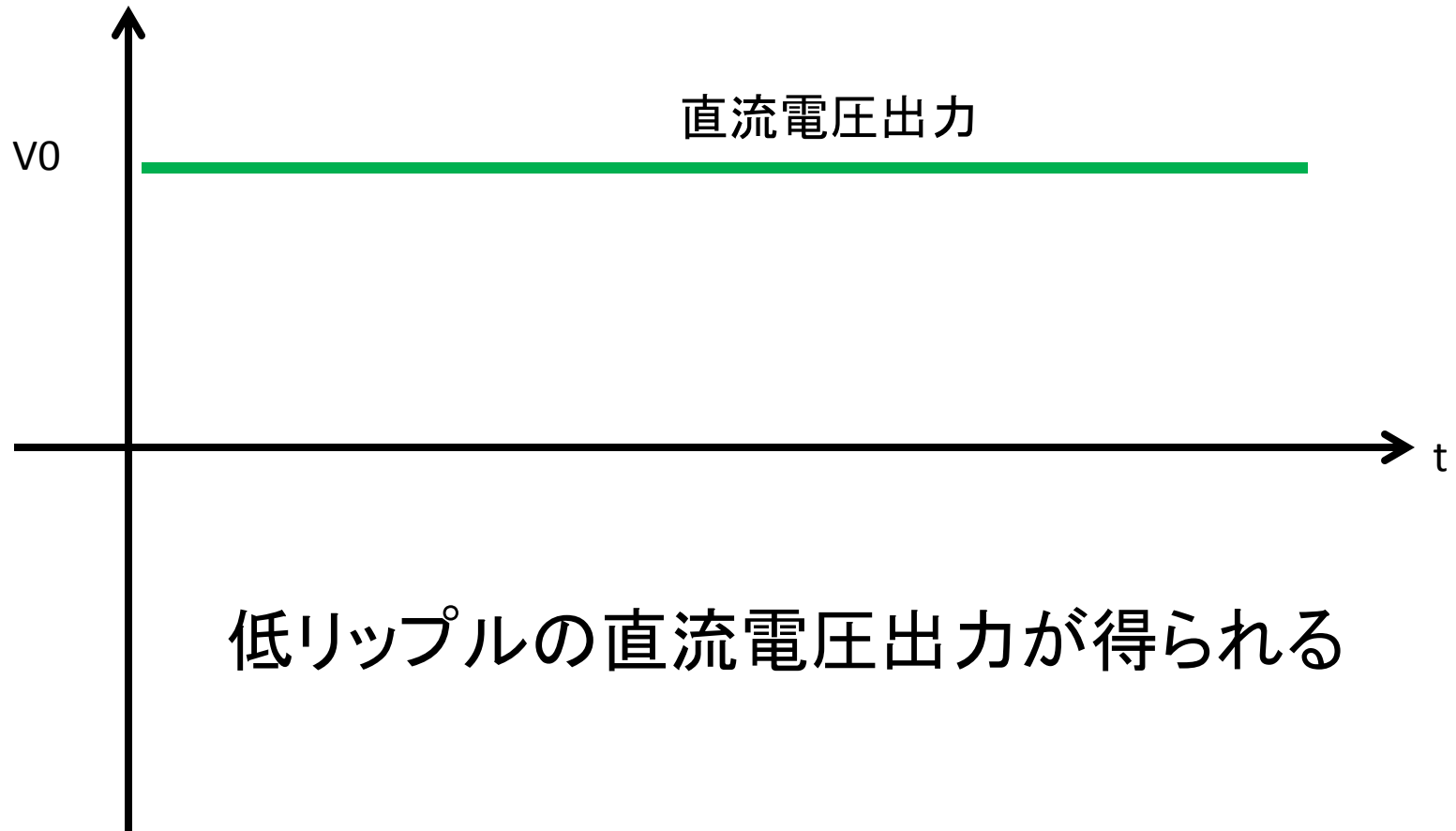
# 提案1の構成の原理(2)



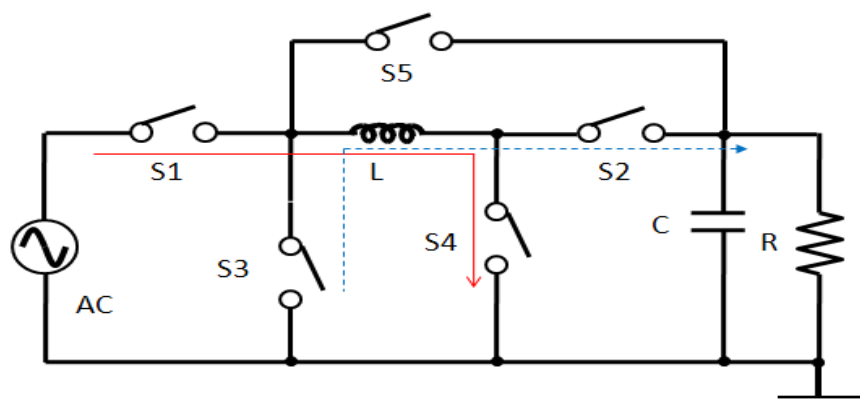
# 提案1の構成の原理(3)



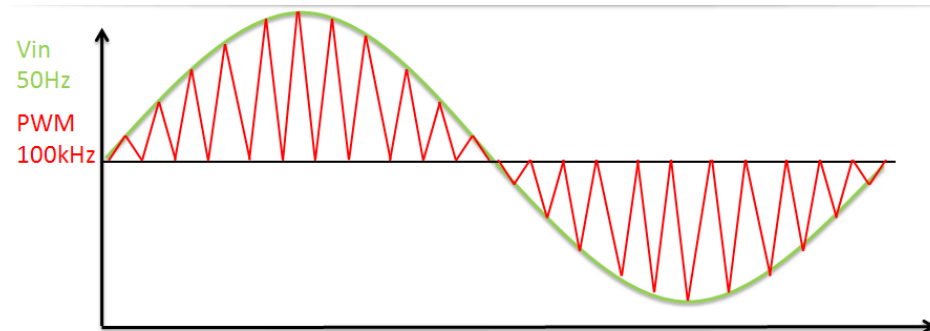
# 提案1の構成の原理(4)



# 提案1 回路の動作

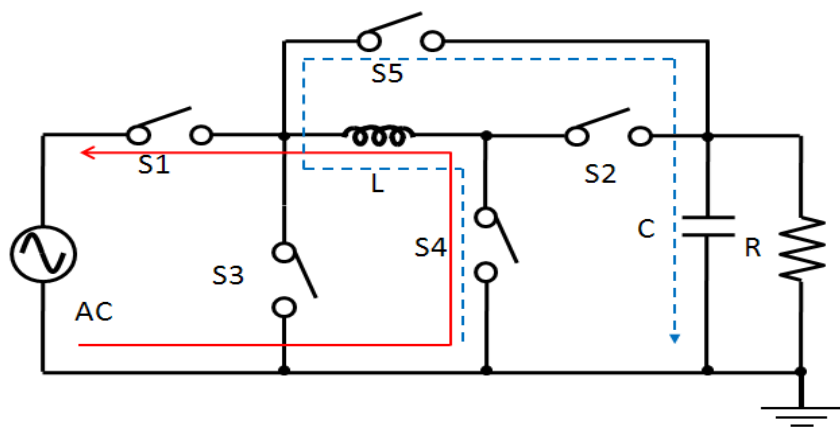


昇降圧—昇降圧型AC-DCコンバータ  
( $V_{in} > 0$ 時の電流状態)

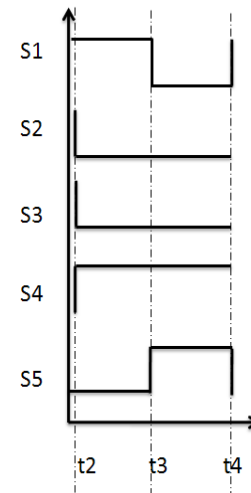
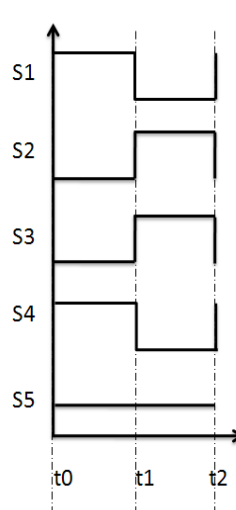


$V_{in} > 0$

$V_{in} < 0$

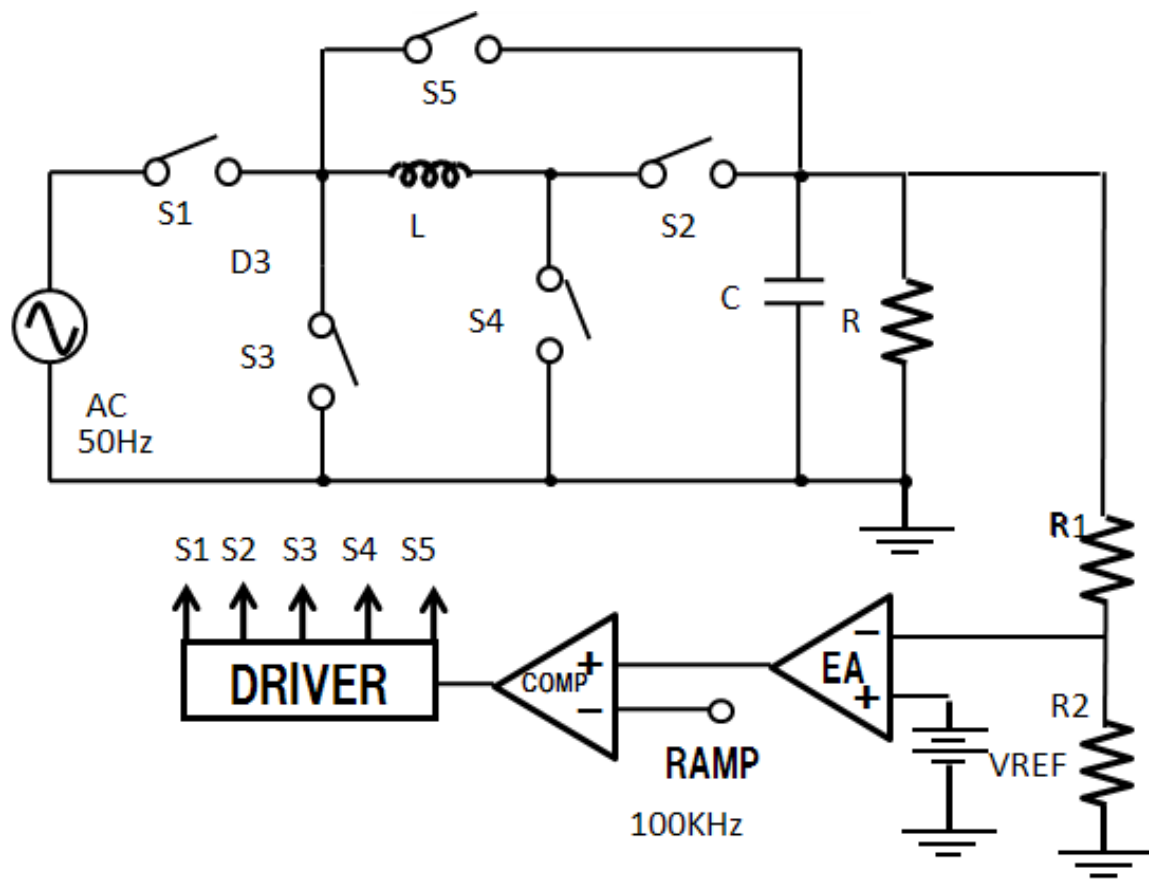


$V_{in} < 0$ 時の動作電流



タイミング・チャート

# パワー部と制御部の回路



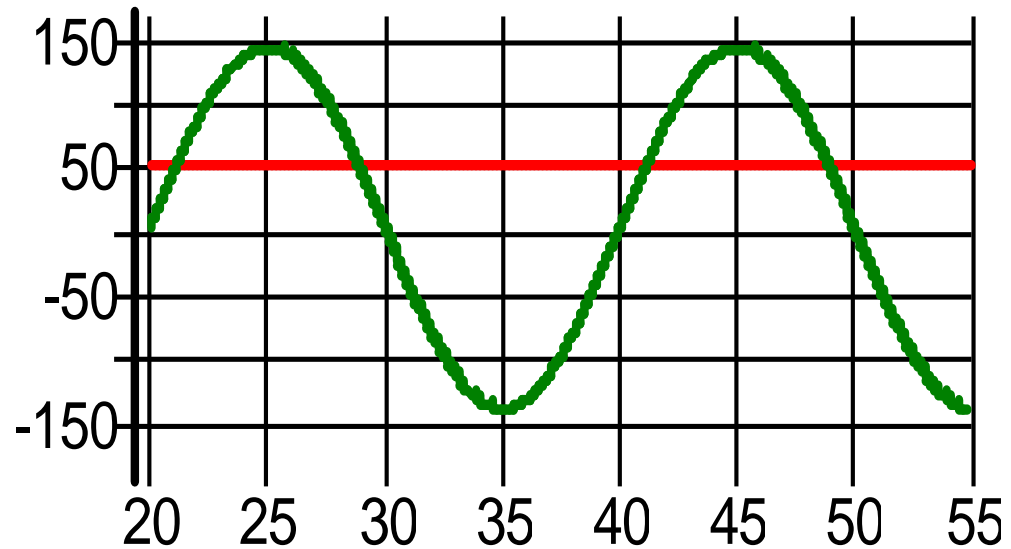
- AC-DC変換回路が一段で実現
- AC 100Vrms 入力で DC 電圧出力 50V, 24V, 12V, 5V のいずれも実現可。  
(シミュレーションで確認済)
- ドライバー回路の簡単な変更で負の直流電圧出力も可。

# シミュレーションによる動作確認

## ● シミュレーション条件 & 結果

- ・入力: 100Vrms、50Hz
- ・PWM信号: 100kHz
- ・出力電圧:  $V_o = 50.00V (+40mV)$

C	220 uF
R	100 $\Omega$
R1	9 k $\Omega$
R2	1 k $\Omega$
L	220 uH
VREF	5.0 V



time/mSecs

5mSecs/div

— AC入力電圧

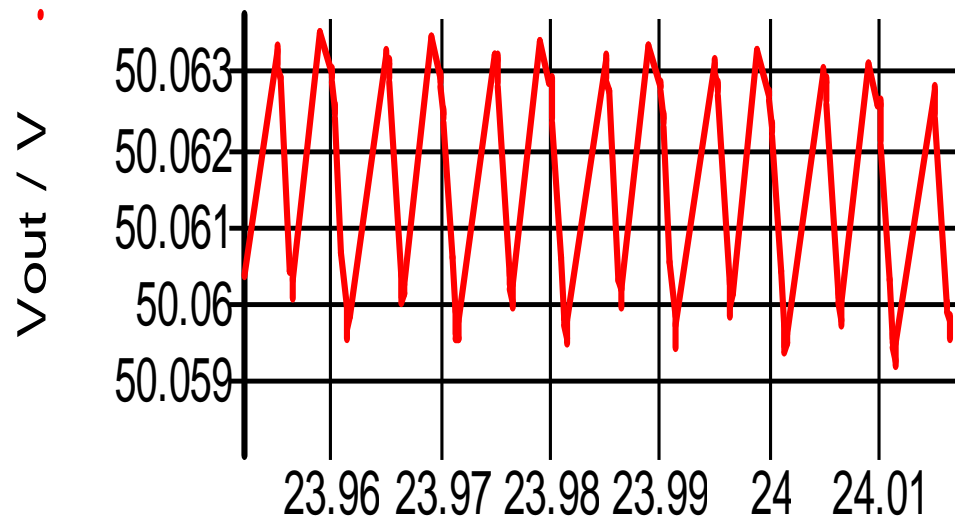
— DC入力電圧

# 出力電圧リップル

## ● シミュレーション結果

・出力リップル:  $5\text{mVpp}$

(リップル周波数:  $200\text{kHz}$ )




C	220 $\mu\text{F}$
R	100 $\Omega$
R1	9 $\text{k}\Omega$
R2	1 $\text{k}\Omega$
L	220 $\mu\text{H}$
VREF	5.0 V

リップル電圧は十分小さい



# 新提案1回路のまとめ

- 一段の回路で AC入力100Vrmsから DC出力電圧 (50V, 24V, 12V, 5V等) の変換が実現できる。
- リプル電圧は十分小さい。
- 問題点： 動作状態で、  
インダクタLに逆方向に電流が流れる  
 効率が劣化

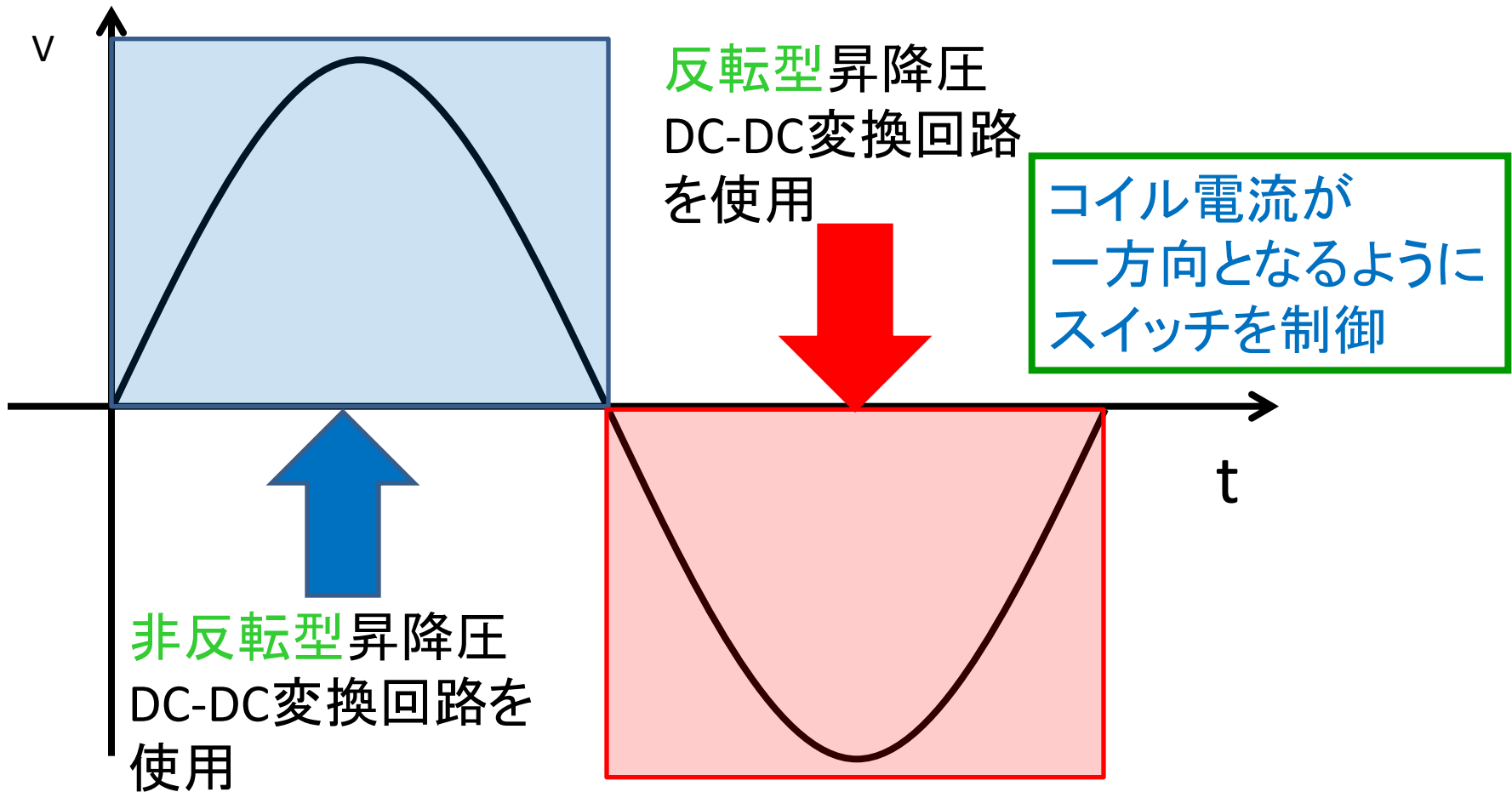
上記問題を解決するため  
HブリッジAC-DC変換器を提案する。

# OUTLINE

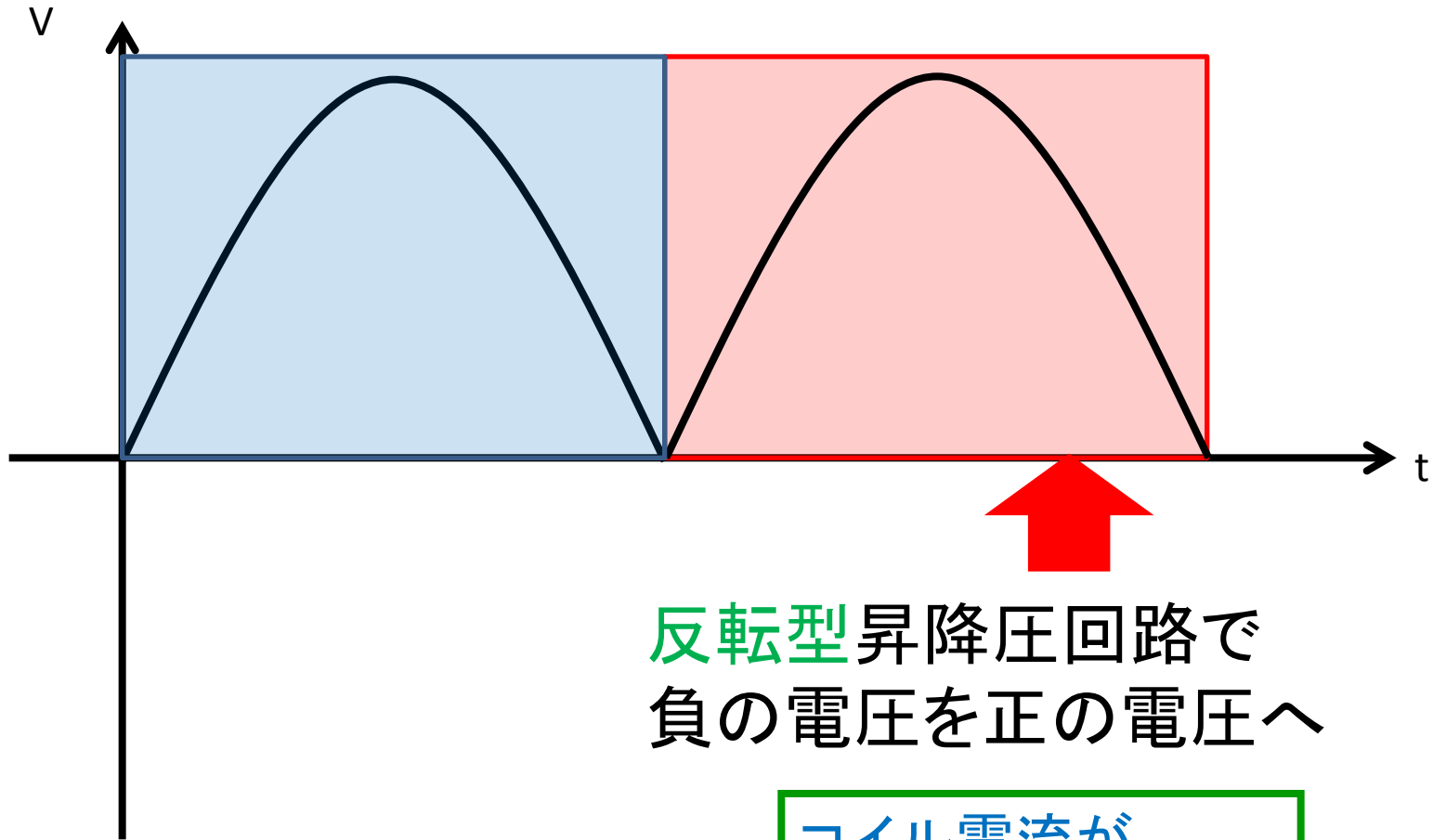
- 研究背景
- 新提案1  
昇降圧-昇降圧電源使用AC-DC変換器
- 新提案2  
Hブリッジ AC-DC変換器
- まとめ

# 提案2の構成の原理(1)

AC入力電圧からDC出力電圧を生成



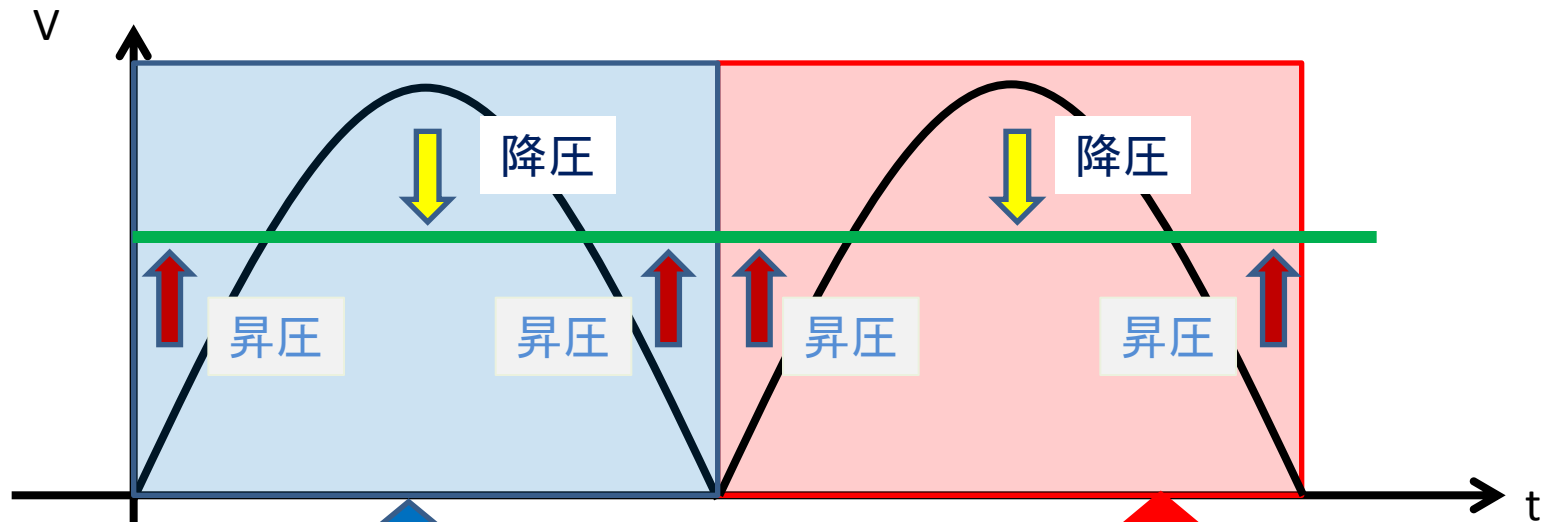
# 提案2の構成の原理(2)



反転型昇降圧回路で  
負の電圧を正の電圧へ

コイル電流が  
一方向となるように  
スイッチを制御

# 提案2の構成の原理(3)

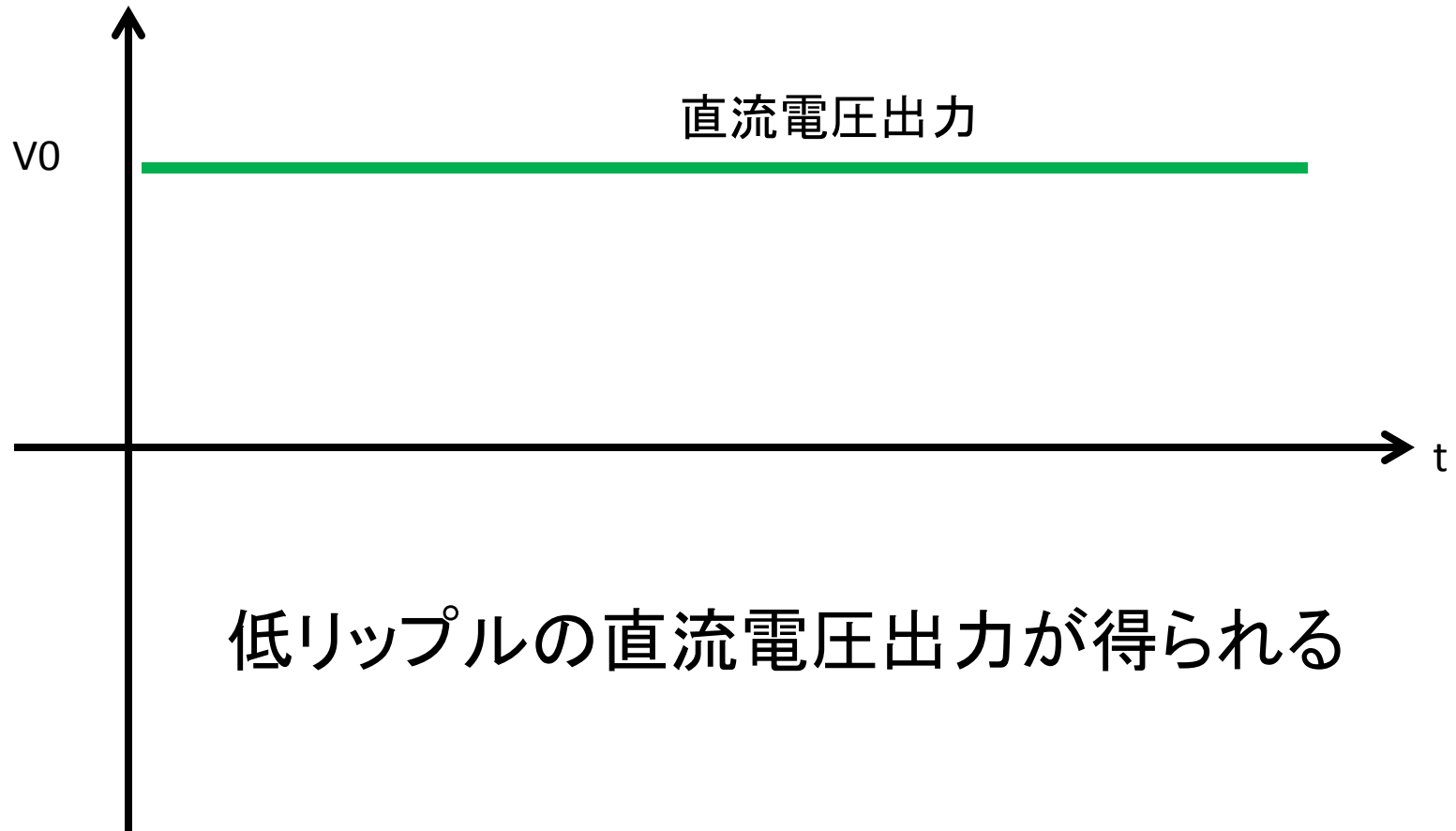


非反転型昇降回路  
を使用

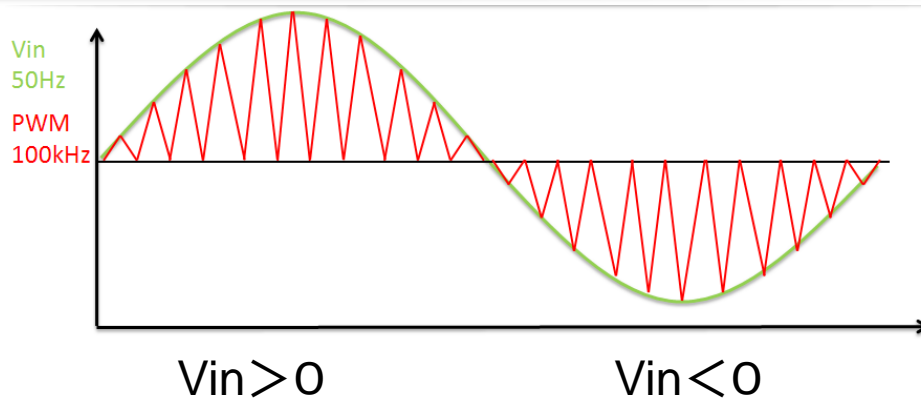
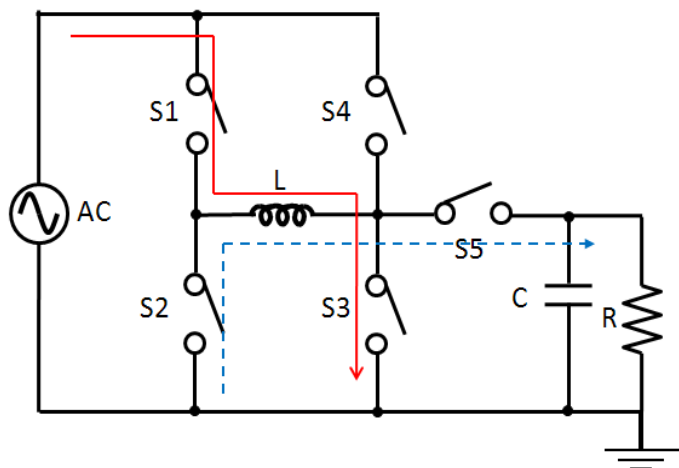
反転型昇降圧回路  
を使用

コイル電流が  
一方向となるように  
スイッチを制御

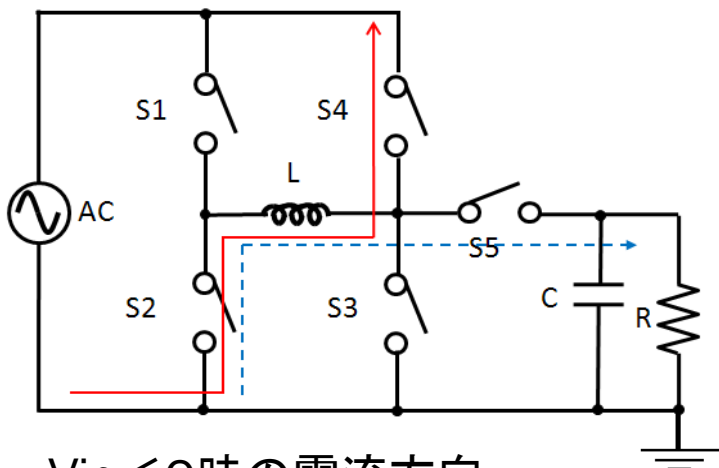
# 提案2の構成の原理(4)



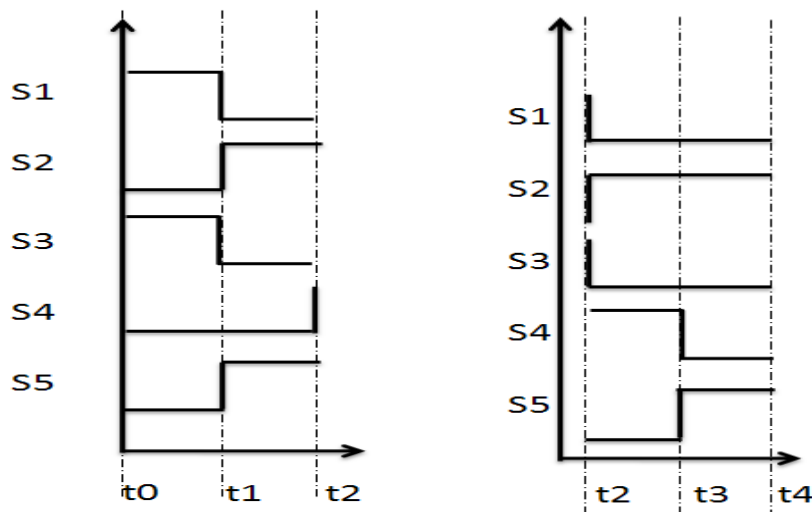
# 提案2の回路の構成と動作



非反転型HブリッジAC-DCコンバータ  
( $V_{in} > 0$ 時の電流方向)



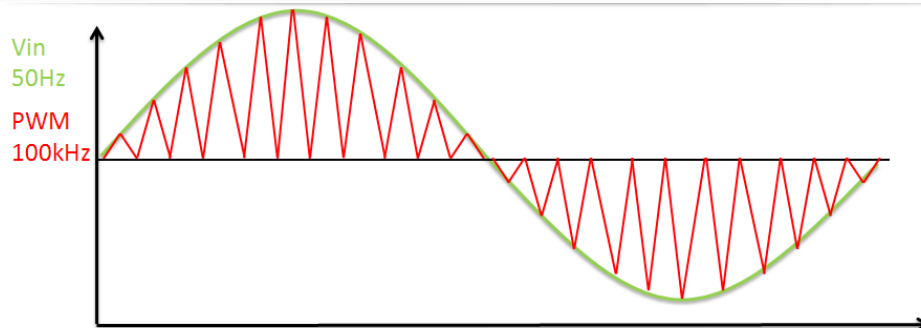
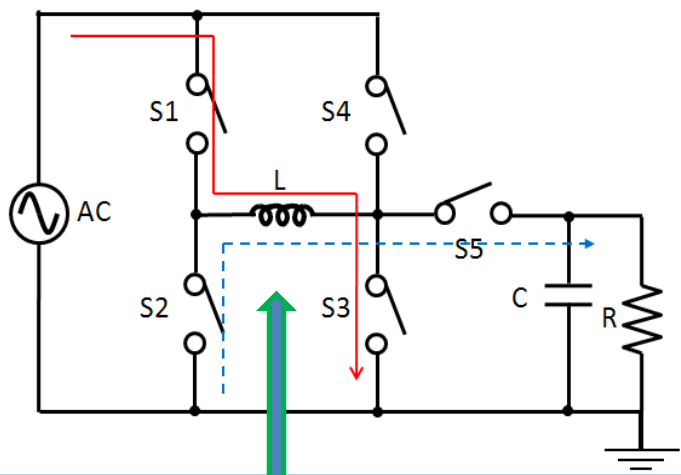
$V_{in} < 0$ 時の電流方向



## ● 動作モード

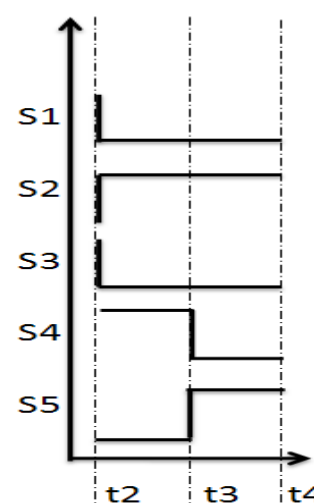
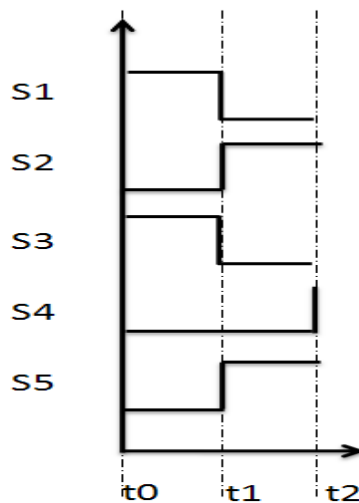
- ・入力信号の正負極性により、制御モードを切替える
- ・コイル電流が一方向となるようにスイッチを制御

# 提案2の回路の構成と動作



$V_{in} > 0$

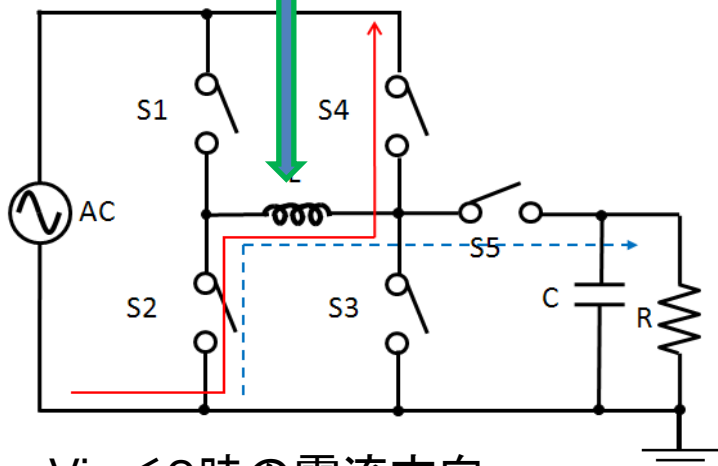
$V_{in} < 0$



## ● 動作モード

- ・入力信号の正負極性により、制御モードを切替える
- ・コイル電流が一方向となるようにスイッチを制御

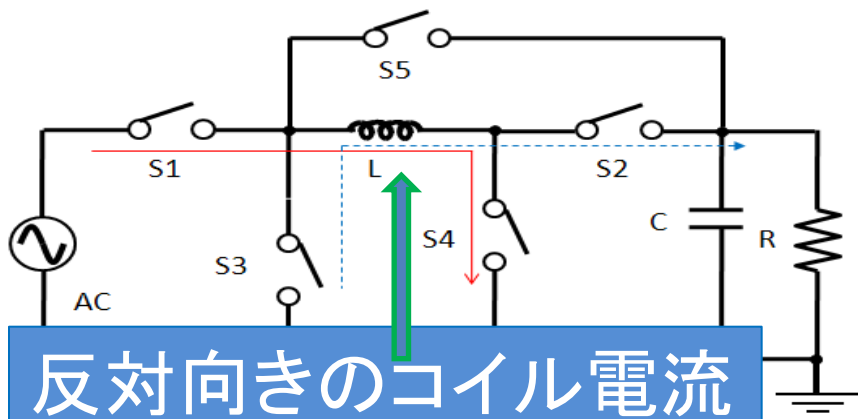
非  
( )  
同じ向きのコイル電流



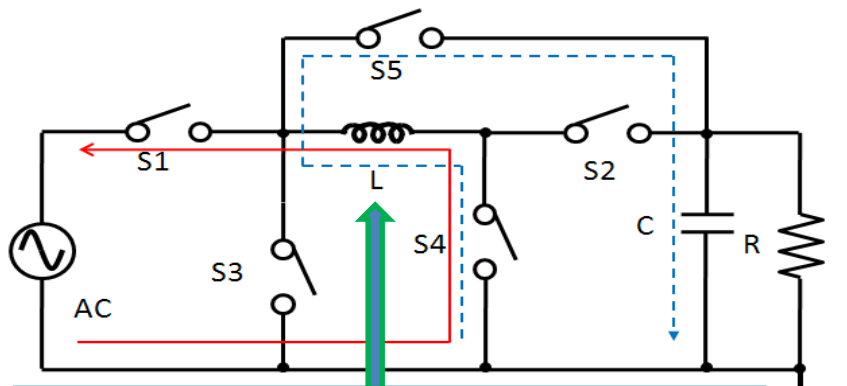
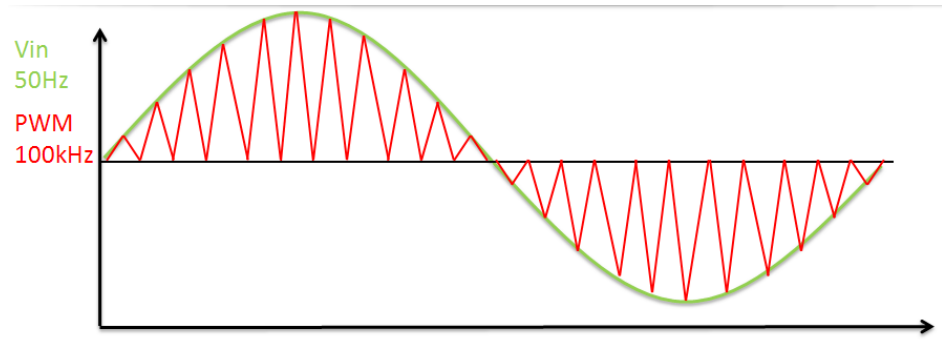
$V_{in} < 0$ 時の電流方向



# 参考 提案1 回路の動作



昇降圧-昇降圧空AC-DCコンバータ  
( $V_{in} > 0$  時の電流状態)

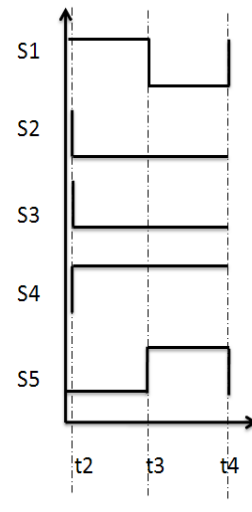
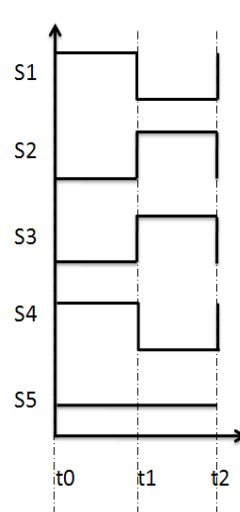


反対向きのコイル電流

$V_{in} < 0$  時の動作電流

$V_{in} > 0$

$V_{in} < 0$



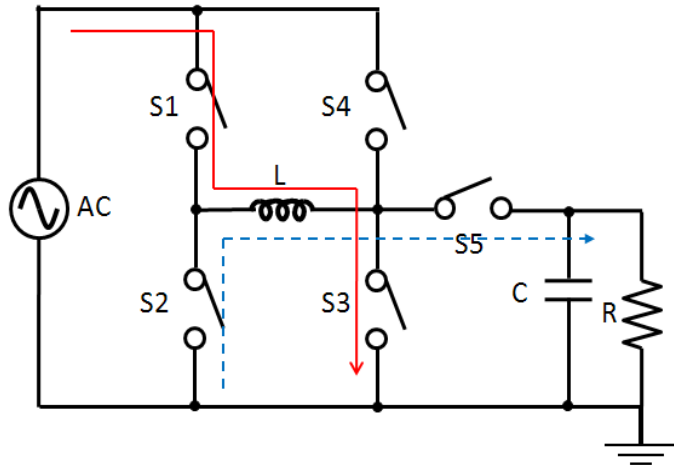
タイミング・チャート

# 制御クロック生成

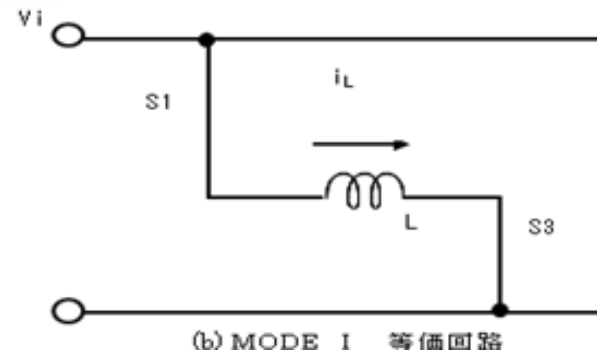
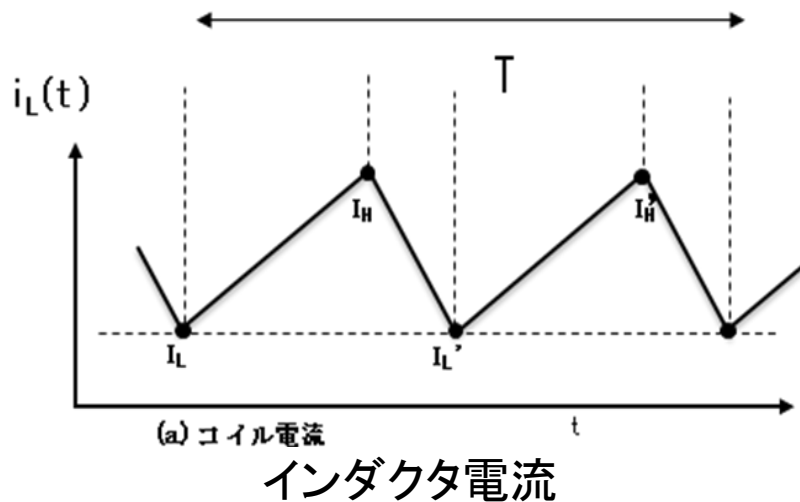
---

各スイッチデバイス制御クロック生成には  
AC入力電圧を基準入力とする  
PLL回路等を用いる。

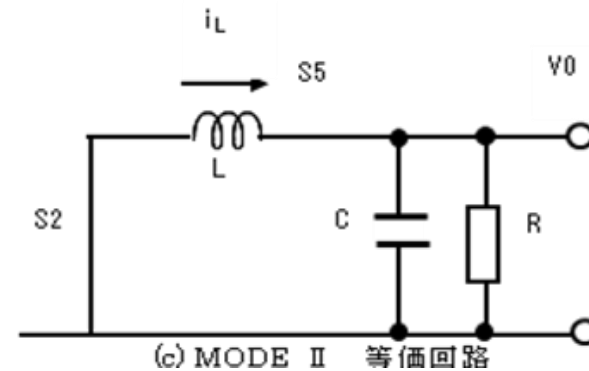
# 電圧変換率の検討



非反転型HブリッジAC-DCコンバータ  
( $V_{in} > 0$  時の電流方向)



$V_i > 0$  :  $S1, S3=ON$  時の等価回路



$V_i > 0$  :  $S2, S5=ON$  時の等価回路

# 電圧変換率の理論解析

PWM周波数  $\gg$  入力周波数  瞬時出力電圧  $V_o$  一定

非反転昇降圧型DC-DCコンバータと同様に次式で表される。出力電圧は一定。

$$V_o = \frac{D}{1-D} V_i \quad V_o = \sqrt{2} \frac{D}{1-D} V_{rms} \cdot \sin(\theta)$$

必要なデューティD:

$$D(\theta) = \frac{1}{1 + \sqrt{2} \frac{1}{M} \sin(\theta)} \quad \text{ただし} \quad M = \frac{V_o}{V_{rms}}$$

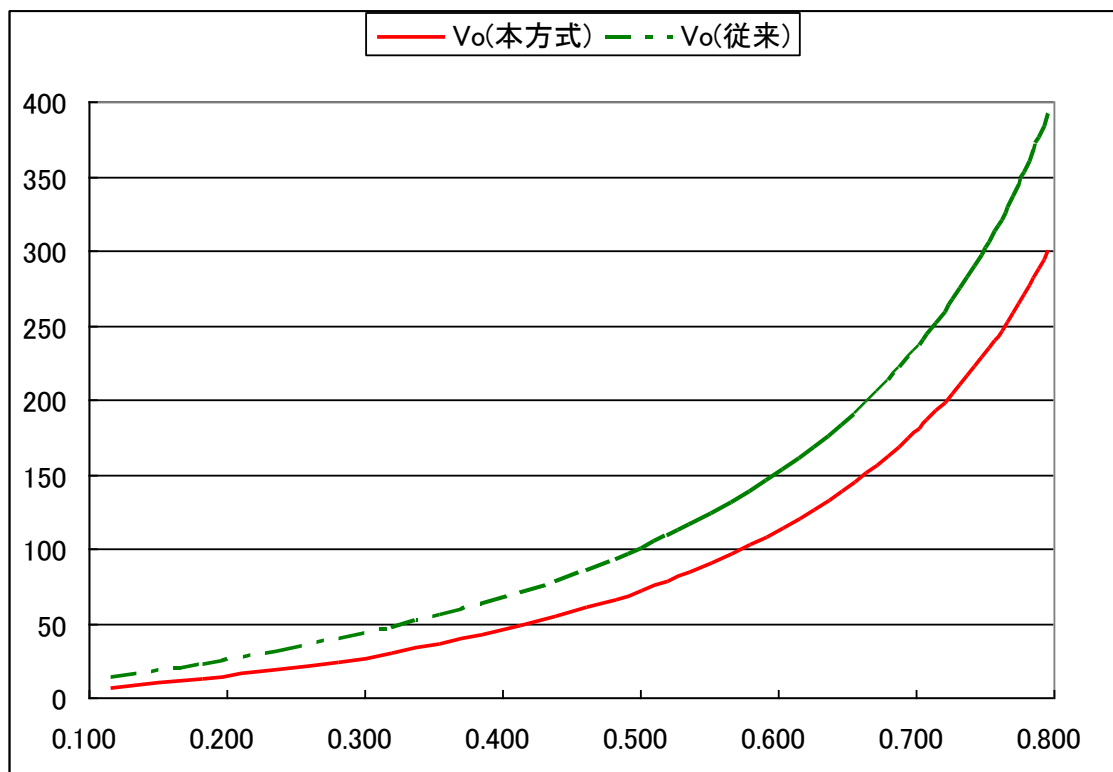
半周期の平均デューティ  $D^*$  :

$$D^* = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} D(\theta) d\theta$$

# 平均デューティと出力電圧 ( $V_{rms}=100V$ )

通常の  
昇降圧型DC-DCコンバータ

提案AC-DC 構成2

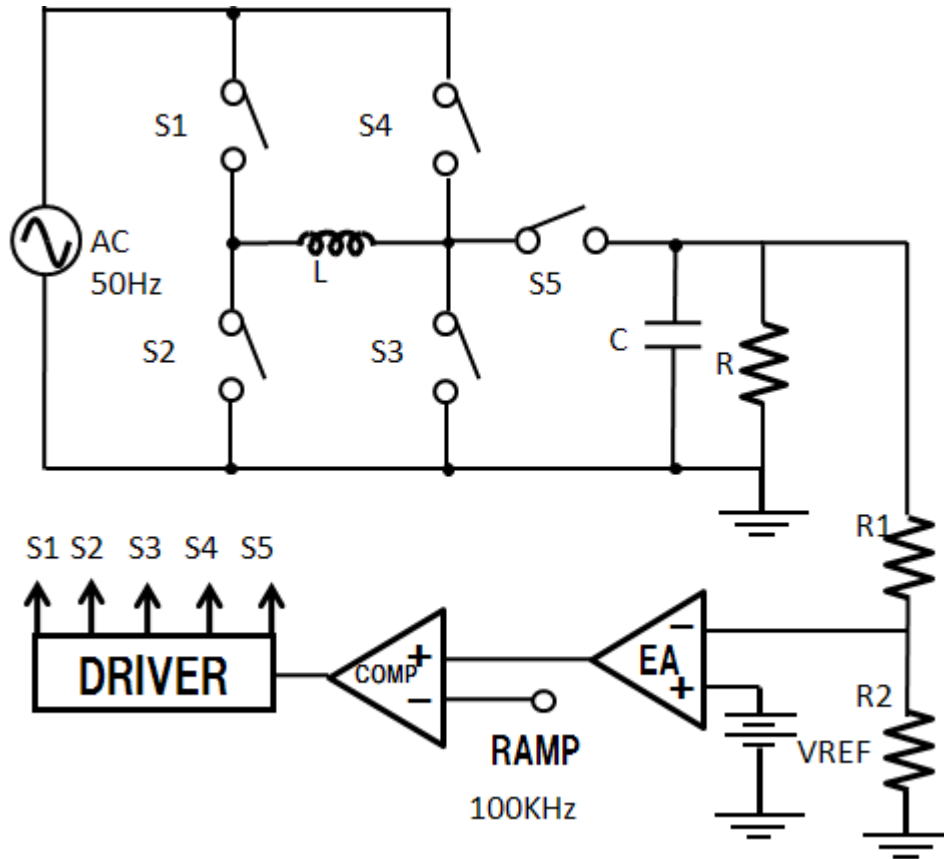


同じデューティで本方式の出力電圧 $V_o$ はやや低い。



本方式は低いDC出力電圧が得やすい (大きなメリット)

# 提案2のパワー部と制御部の回路



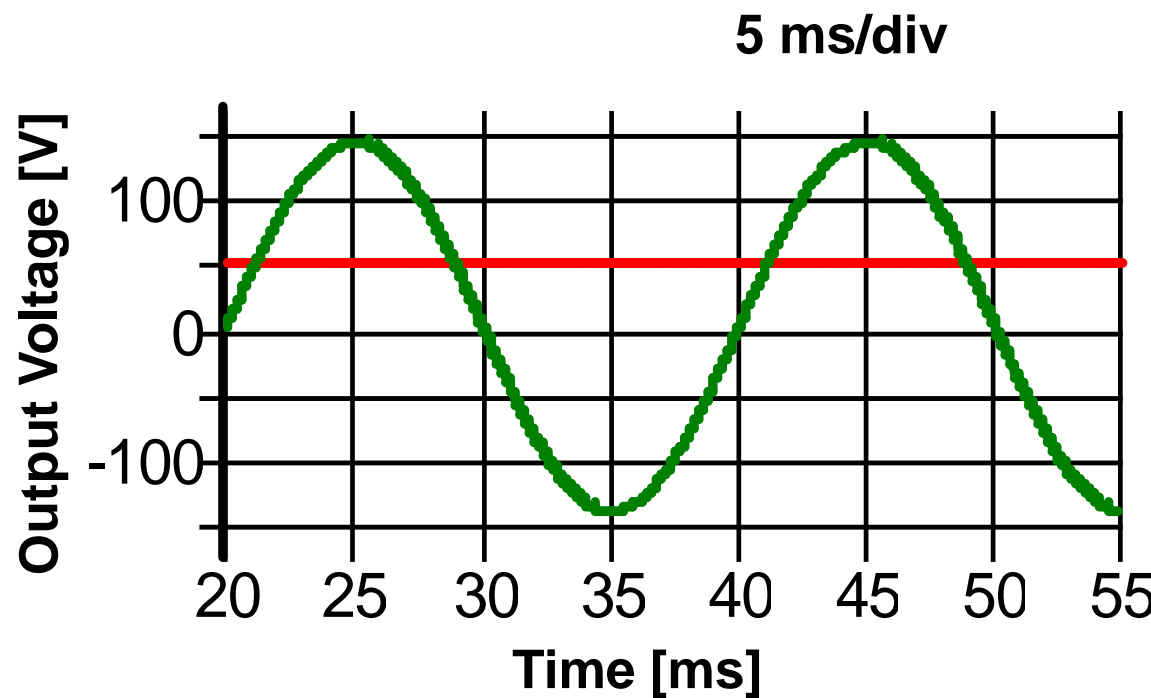
- AC-DC変換回路が一段で実現
- AC 100Vrms 入力で DC 電圧出力 50V, 24V, 12V, 5V のいずれも実現可。  
(シミュレーションで確認済)
- ドライバー回路の簡単な変更で負の直流電圧出力も可。

# 出力電圧波形

## ● シミュレーション条件 & 結果

- ・入力: 100Vrms、50Hz
- ・PWM信号: 100kHz
- ・出力電圧:  $V_o=50.00V$   
(+40mV)

C	220 $\mu$ F
R	100 $\Omega$
R1	9 k $\Omega$
R2	1 k $\Omega$
L	220 $\mu$ H
VREF	5.0 V



— AC入力電圧

— DC入力電圧

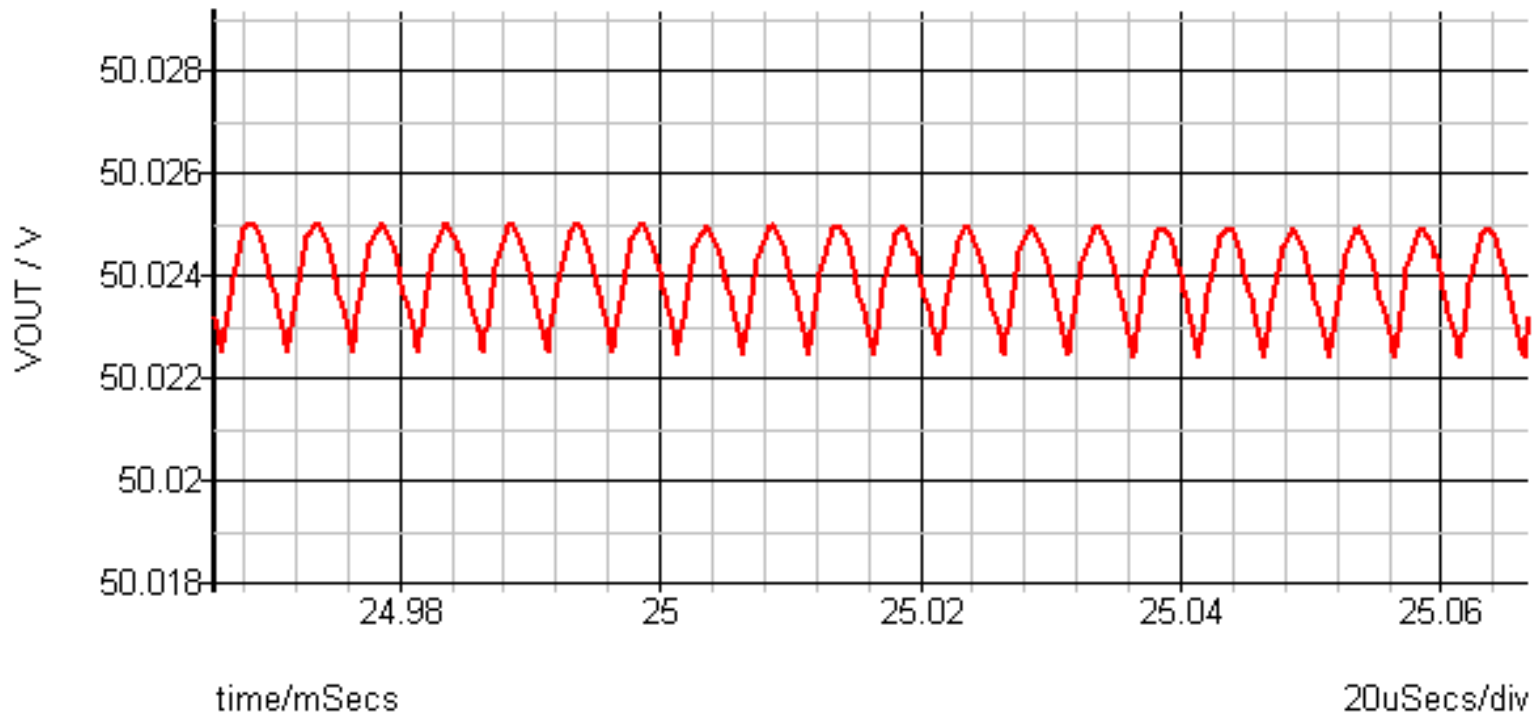
# 出力電圧のリプル

## ● シミュレーション結果

・電圧リプル:  $\Delta V_o = 3\text{mVpp}$

リプル率: 0.02%

リプル電圧は十分小さい  
(提案1より小さい)





# 過渡応答: 負荷100Ωから50Ωのシミュレーション

## ● 過度応答特性 条件 & 結果

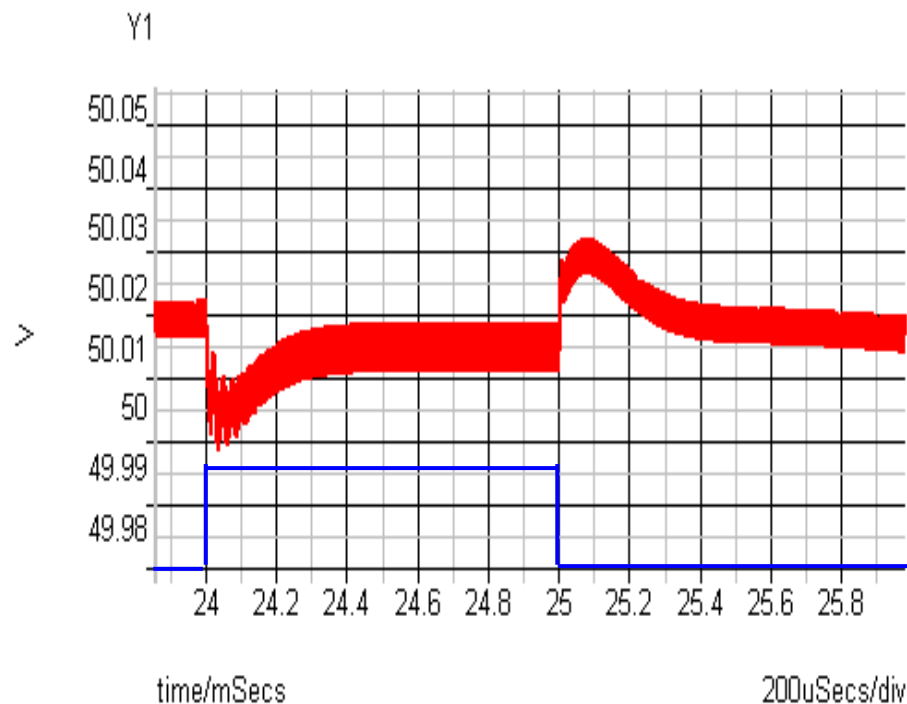
(ダイナミック・ロード・レギュレーション)

### ・負荷電流変化

$$\Delta I_L = 0.5A \text{ (1.0/0.5A)}$$

$$(R_L = 50/100\Omega)$$

### ・出力電圧概要



# 出力電圧5Vと電圧リップル

## ● シミュレーション条件 & 結果

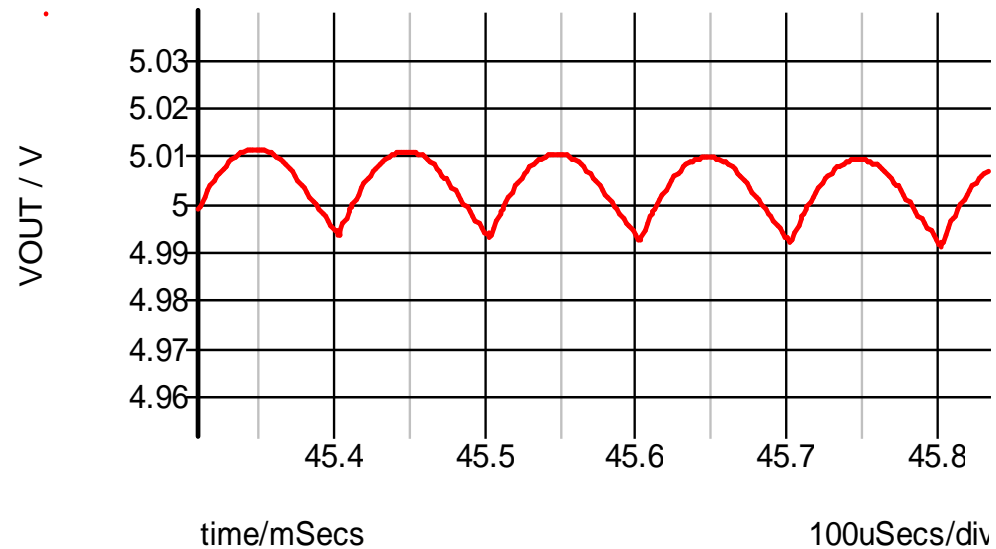
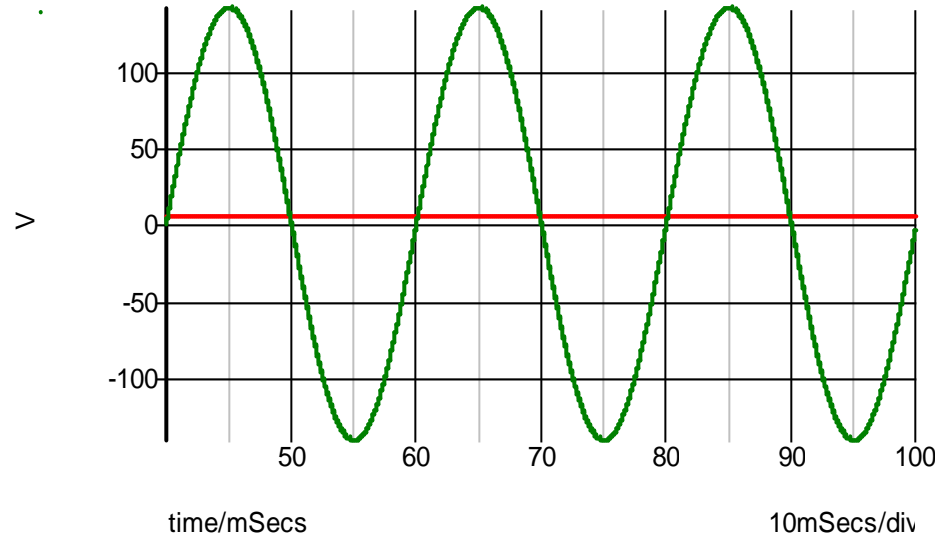
・従来と同一条件

・出力電圧 = 5V

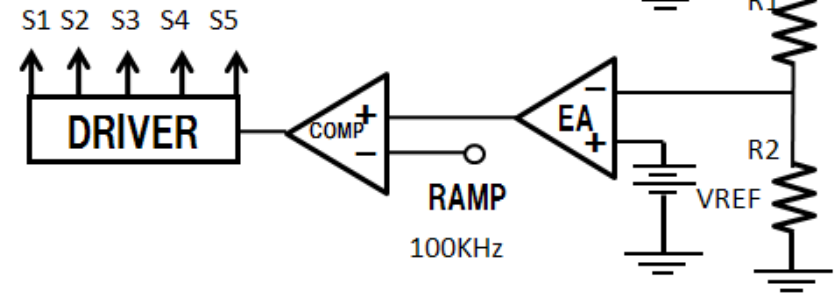
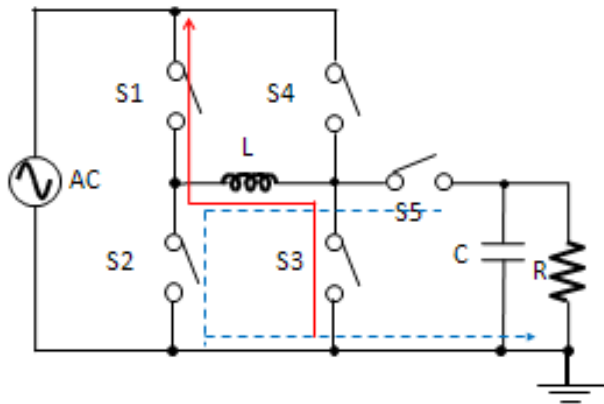
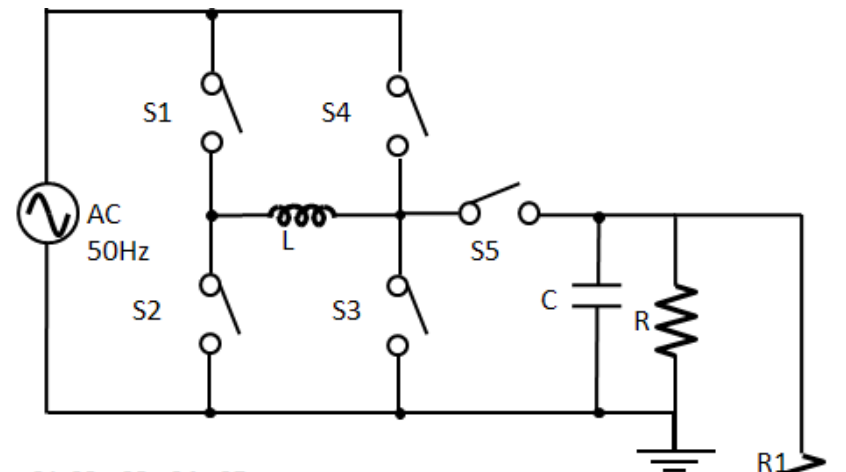
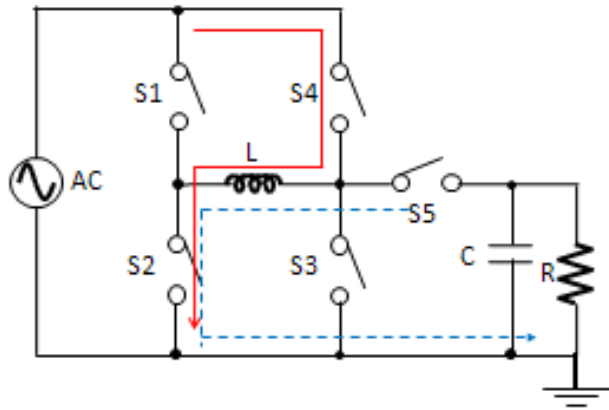
電圧リップル:  $\Delta V_o = 2\text{mVpp}$

リップルが小さい

C	220 $\mu\text{F}$
R	100 $\Omega$
R1	9 $\text{k}\Omega$
R2	1 $\text{k}\Omega$
L	220 $\mu\text{H}$
VREF	5.0 V



# 負のDC出力電圧の回路



ドライバーを少し変えれば  
負のDC出力電圧も可。

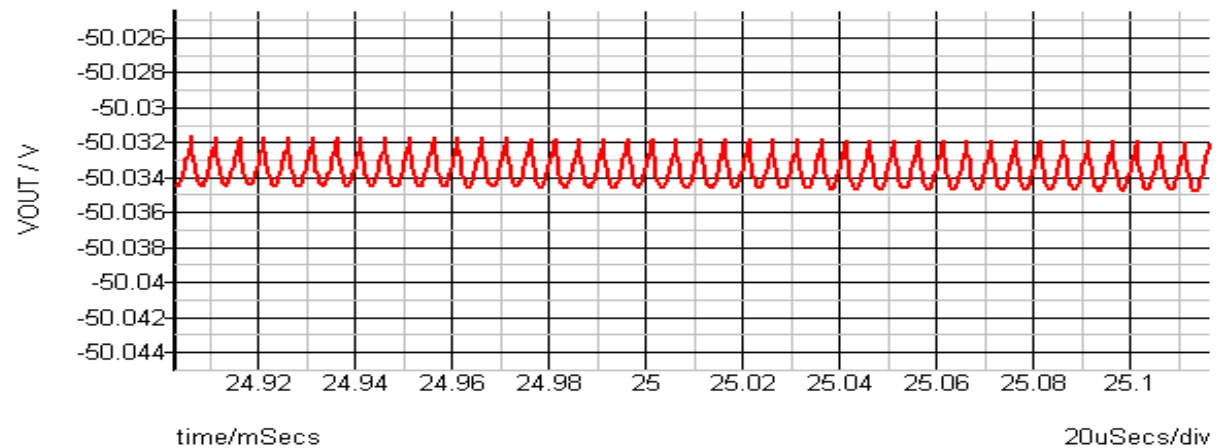
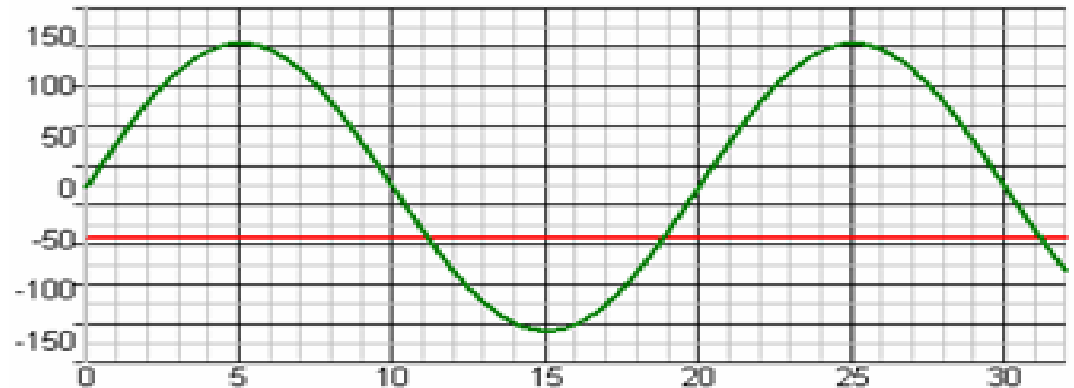
C	220 uF
R	100 Ω
R1	9 kΩ
R2	1 kΩ
L	220 uH
VREF	5.0 V

# 負出力電圧波形と電圧リップル

## シミュレーション条件 & 結果

- ・同一条件
- ・出力電圧 = 負50.00V
- ・電圧リップル:  $\Delta V_o = 3\text{mVpp}$   
リップル率: 0.02%

C	220 $\mu\text{F}$
R	100 $\Omega$
R1	9 $\text{k}\Omega$
R2	1 $\text{k}\Omega$
L	220 $\mu\text{H}$
VREF	5.0 V



# OUTLINE

- 研究背景
- 新提案1  
昇降圧-昇降圧電源使用AC-DC変換器
- 新提案2  
Hブリッジ AC-DC変換器
- まとめ

# まとめ

直接AC-DC変換を行う新原理の回路を2つ提案した。

- 回路が一段構成
- 直流出力電圧50V,24V,12V,5V等が得られる。
- 電圧変換率が同じデューティでより低い出力電圧 $V_o$ が得やすい。
- 負の出力電圧も実現可。
- リプルが十分小さい
- 負荷変動に対する過渡応答がよい。



高変換効率、低コストのAC-DC変換器が実現可

# 今後の課題

- 実デバイスを用いた回路設計
- 力率の評価と改善
- 効率の評価と改善

---

**ご静聴ありがとうございます**