

PFC 回路とAC-DC 変換器

○村上和貴 小堀康功 邢林 高虹

小野澤昌徳 小林春夫 高井伸和 新津葵一
(群馬大学)

Outline

- 研究背景と目的
- PFCについて
- 従来PFC付AC-DC変換器
- 新提案PFC付AC-DC変換器
- シミュレーションによる検討
- まとめ

Outline

- 研究背景と目的
- PFCについて
- 従来PFC付AC-DC変換器
- 新提案PFC付AC-DC変換器
- シミュレーションによる検討
- まとめ

研究背景と目的

環境配慮による電源の要求

- ・小型化・低コスト化
- ・電力損失の削減



AC-DC変換器の研究に注目

研究背景と目的

- AC-DC変換器の力率改善回路
{Power Factor Correction (PFC) 回路}
⇒ 高調波抑制(送電網への影響)



PFC回路に使われる乗算器に注目



新PFC回路の提案

目標仕様

目標仕様

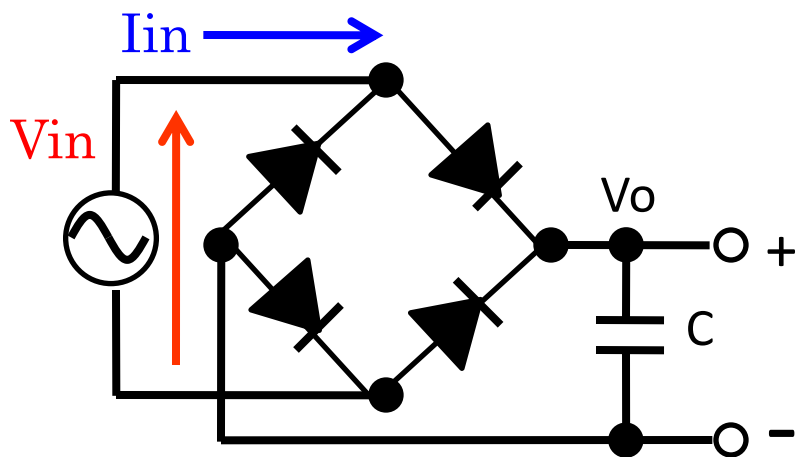
- 入力電圧: AC100V(50Hz),出力電圧: DC24V
- 力率0.95以上(従来PFC回路の力率)
- 出力電圧リップルを $\Delta \pm 0.24V$ 以下

※リップル: 直流成分以外の脈動成分

Outline

- 研究背景と目的
- **PFCについて**
- PFC付AC-DC変換器
- 新提案PFC付AC-DC変換器
- シミュレーションによる検討
- まとめ

電源回路の高調波発生原理



コンデンサ入力型整流回路

入力電圧

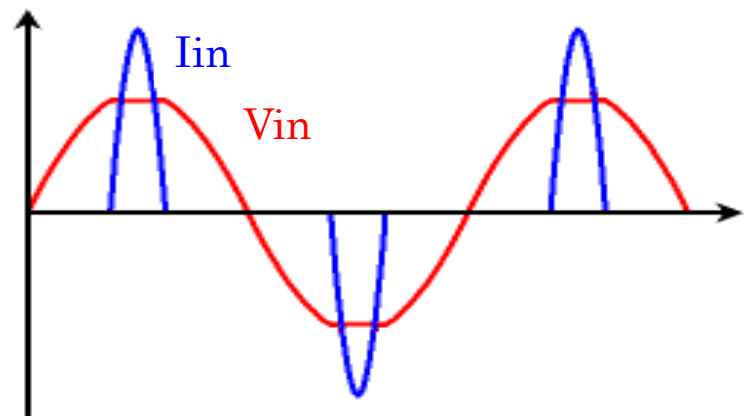
出力電圧

同一面積
(同一実行値)

入力電流 (I)

PFCなし

PFC有り



実際の回路の動作波形(PFCなし)

$|V_{in}| > V_o$ の場合にしか電流が流れない



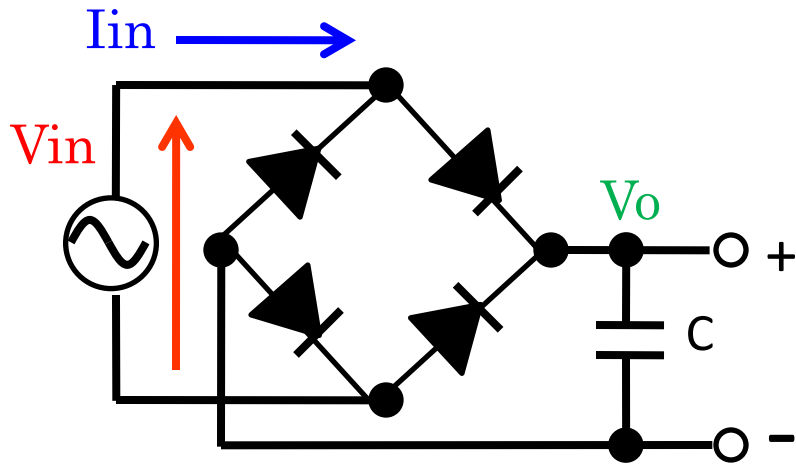
V_{in} のピーク値付近の短い期間に流れる



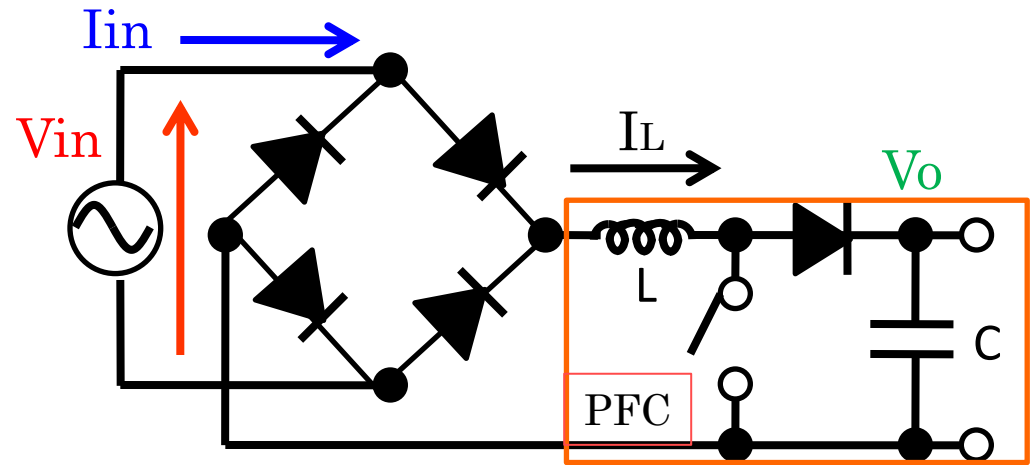
正弦波ではなく高調波が発生

※ V_{in} : 入力電圧, V_o : 出力電圧

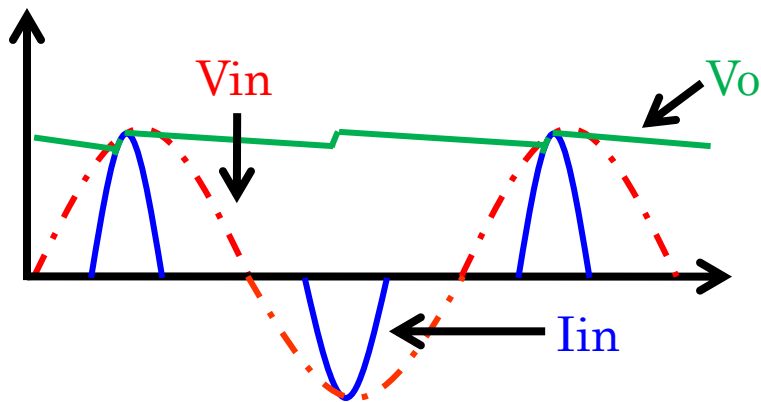
PFC回路動作の有効性



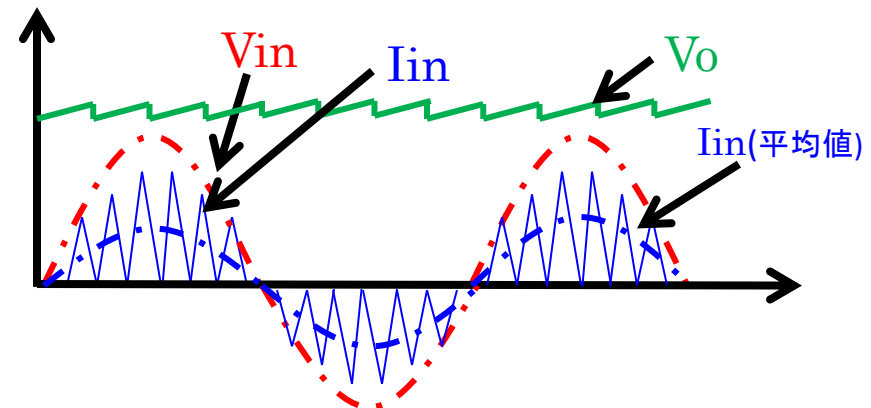
コンデンサ入力型整流回路



コンデンサ入力型整流回路PFC付



動作波形(PFCなし)



動作波形(PFC付)

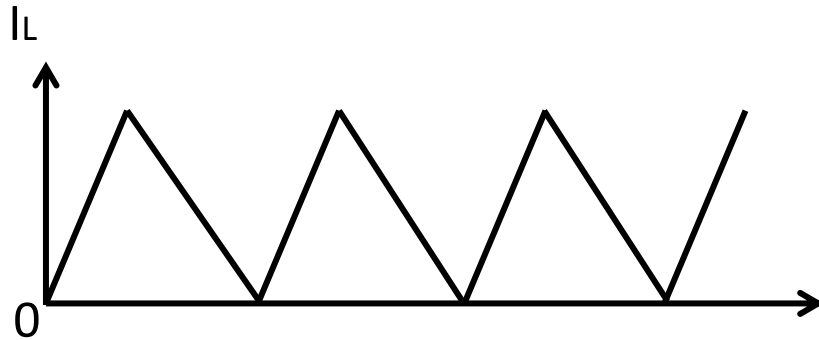
PFCを付けることで電流が正弦波に近くなり力率が改善される

Outline

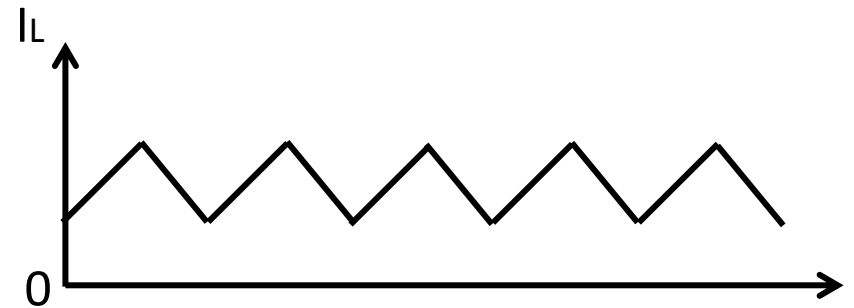
- 研究背景と目的
- PFCについて
- **従来PFC付AC-DC変換器**
 - 動作モード
 - 乗算器動作
 - 制御部の動作
- 新提案PFC付AC-DC変換器
- シミュレーションによる検討
- まとめ

PFCに用いられる動作モードの比較

BCM:
Boundary Conduction Mode(臨界モード)



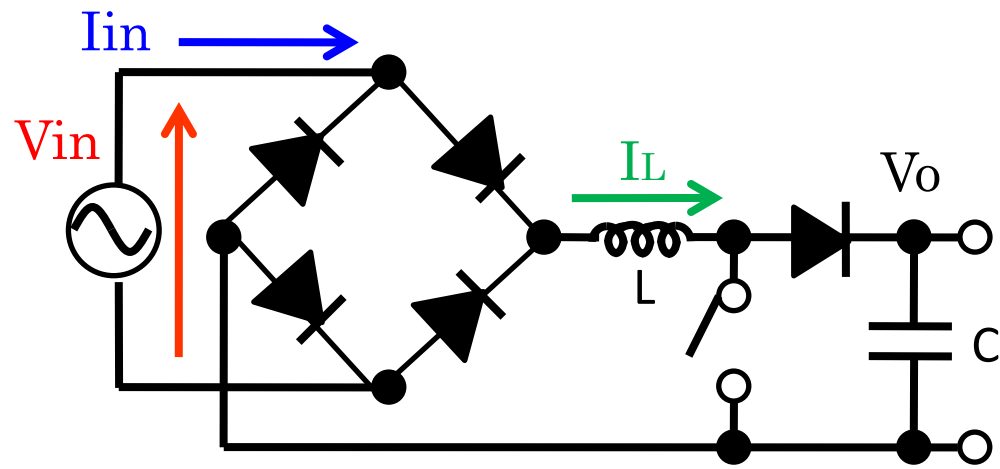
CCM:
Continuous Conduction Mode(連続モード)



動作モード	BCM	CCM
回路構成	簡単	回路が大きい
ピーク電流	大きい	小さい

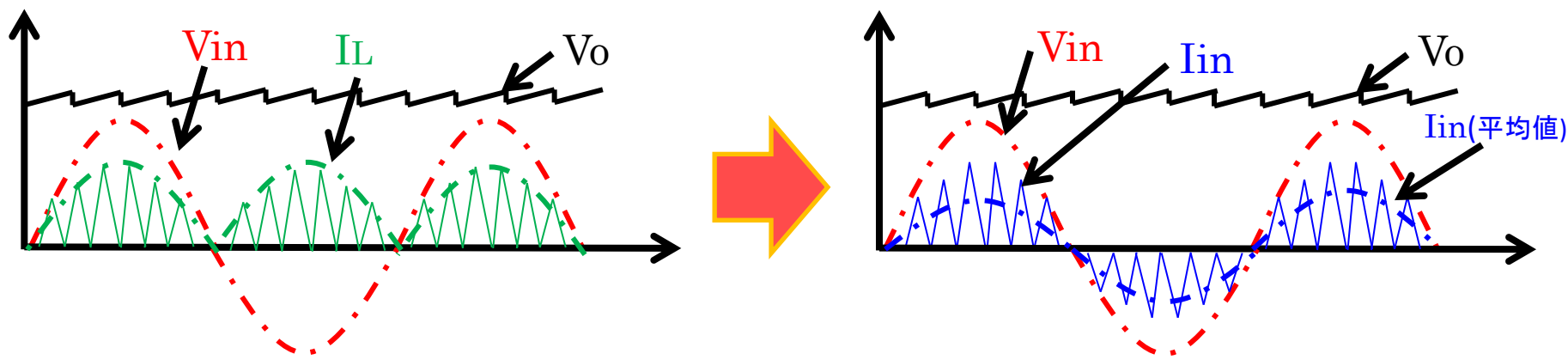
回路構成が簡単なBCMに着手

PFC回路の入力電流とインダクタ電流の関係



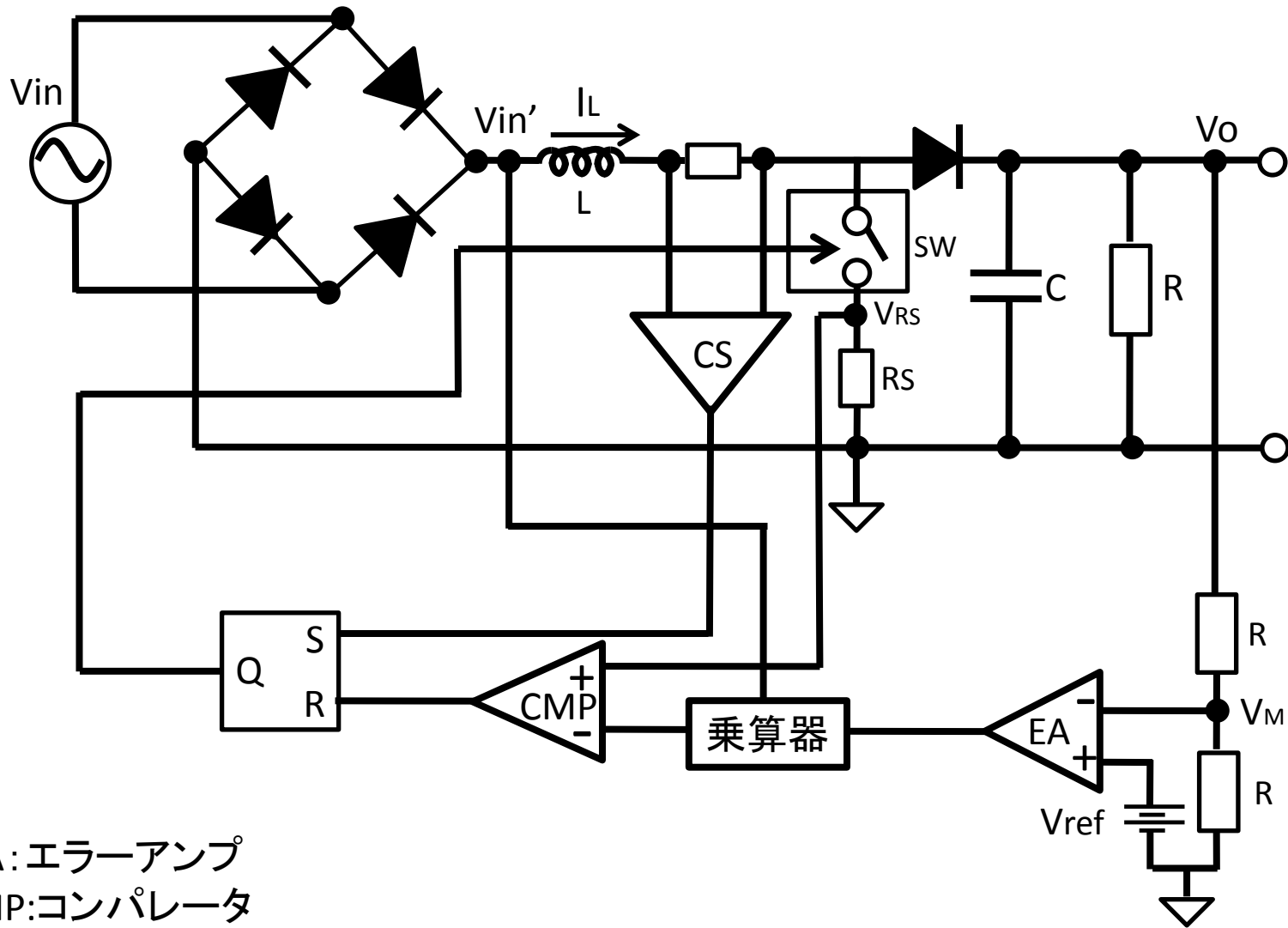
※ V_{in} : エラーアンプ
 I_{in} : 入力電流
 I_L : インダクタ電流
 V_o : 出力電圧

コンデンサ入力型整流回路PFC付



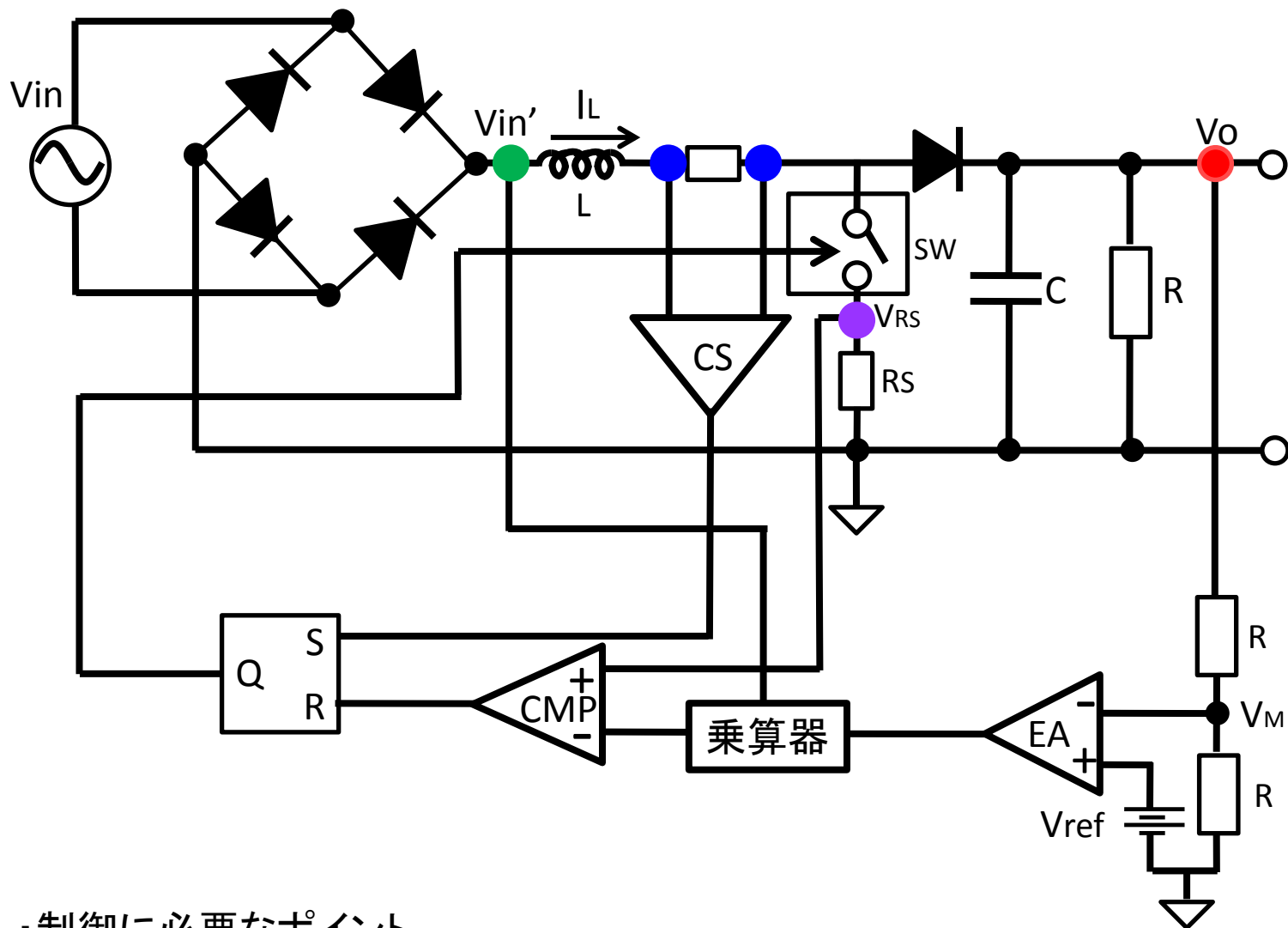
BCM-PFC回路動作波形(入力電流とインダクタ電流)

AC-DC変換器(従来BCM-PFC制御方法)



※EA: エラーアンプ
CMP: コンパレータ
CS: ゼロ電流検出

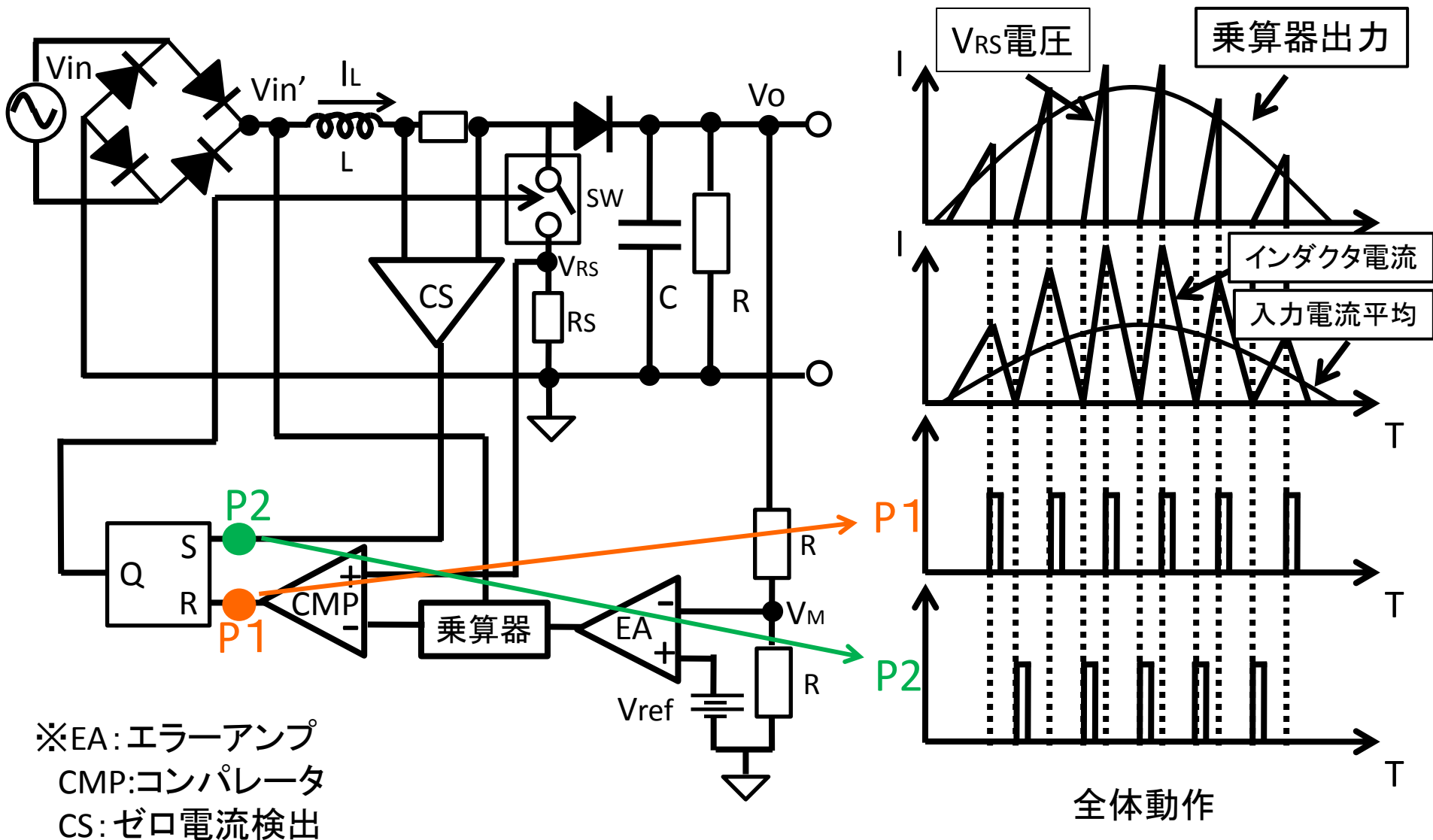
AC-DC変換器(従来BCM-PFC制御方法)



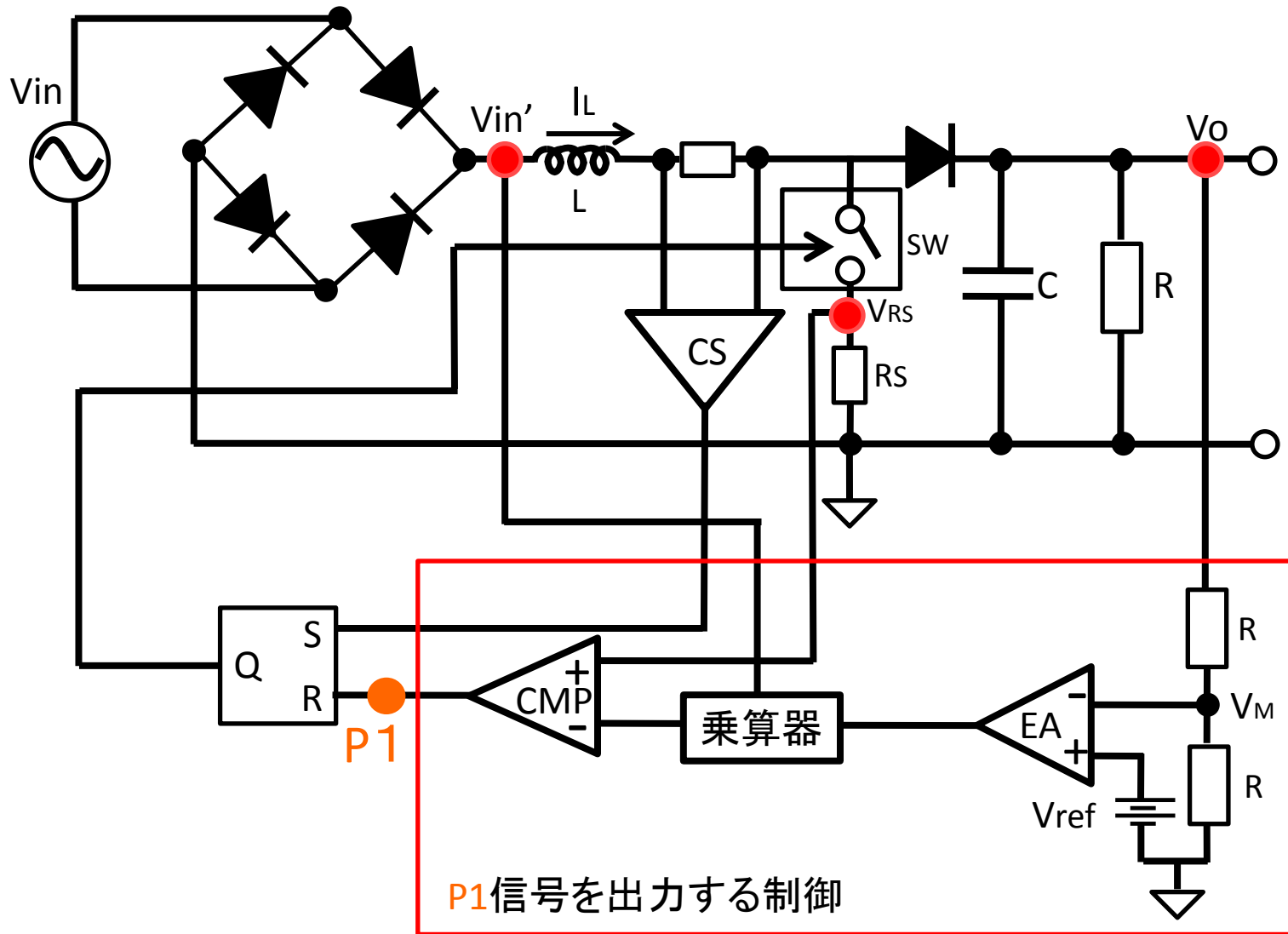
・制御に必要なポイント

●出力電圧、●入力電圧(全波整流波形)、●インダクタ電流検出、●スイッチ電流

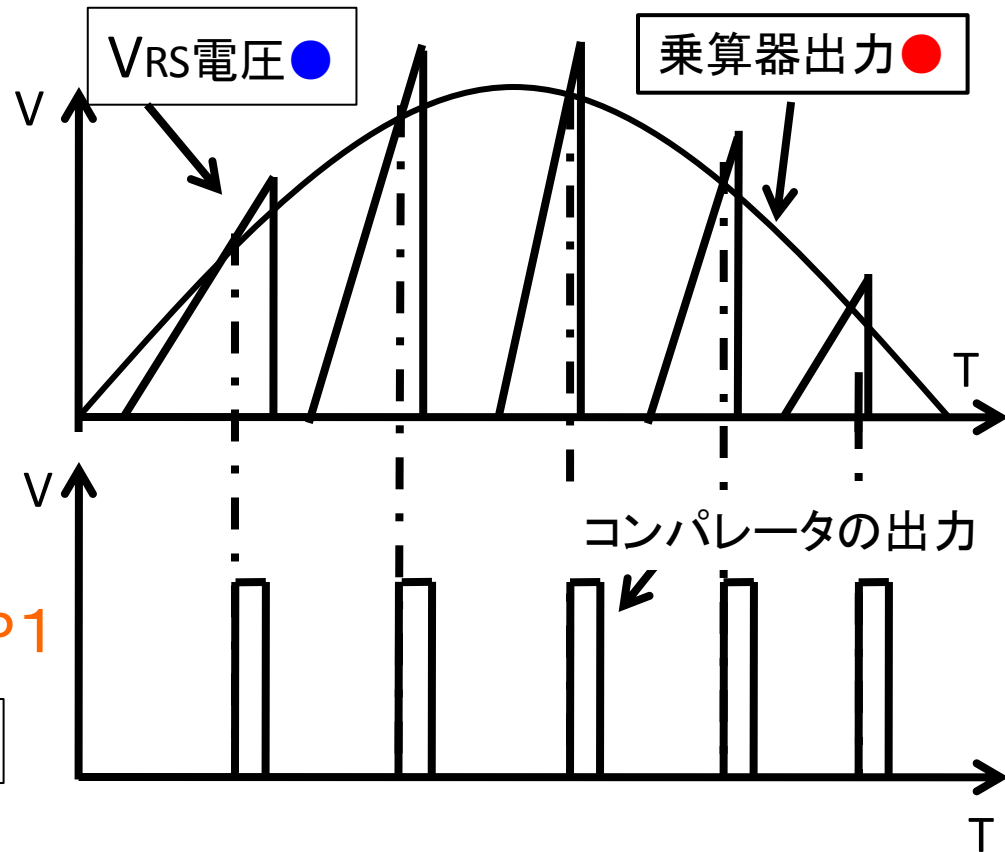
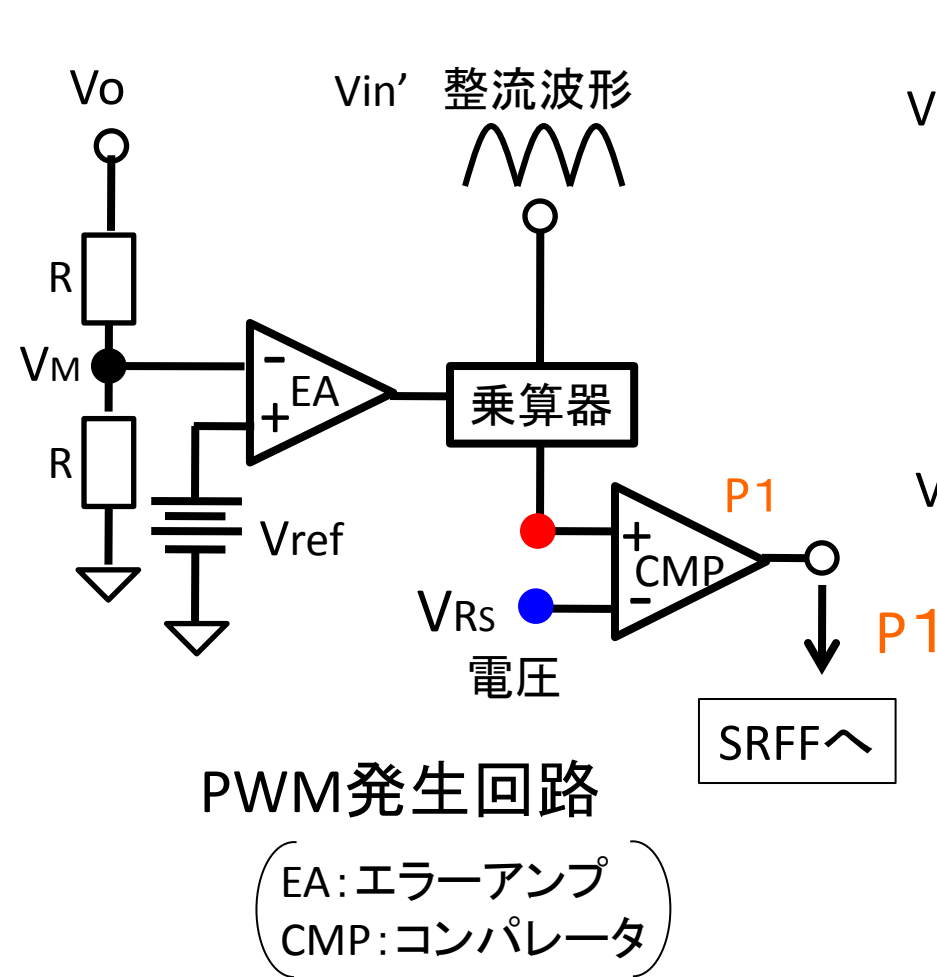
BCM-PFC動作



BCMPFC付AC-DC変換器

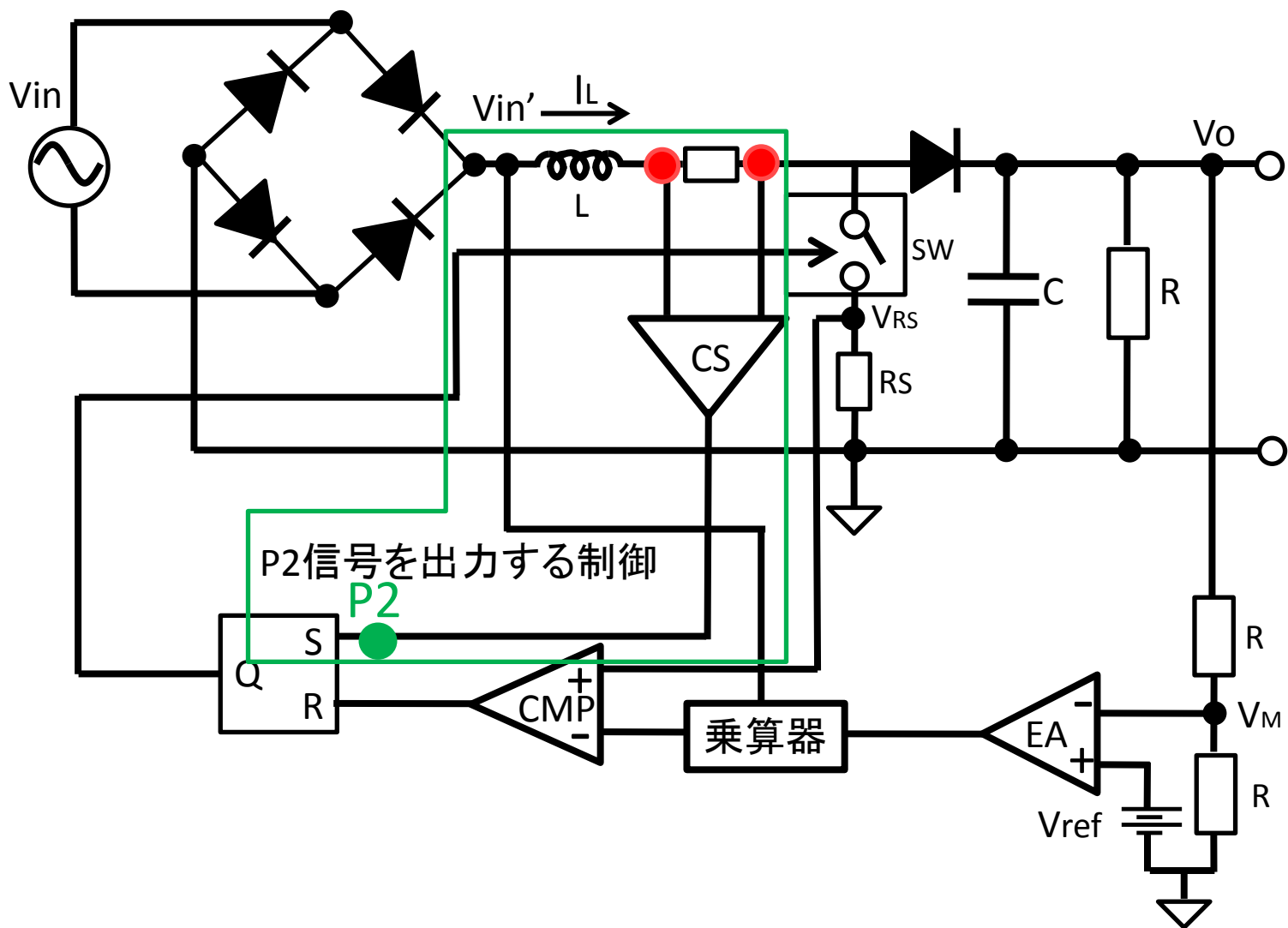


制御回路部(コンパレータの出力)

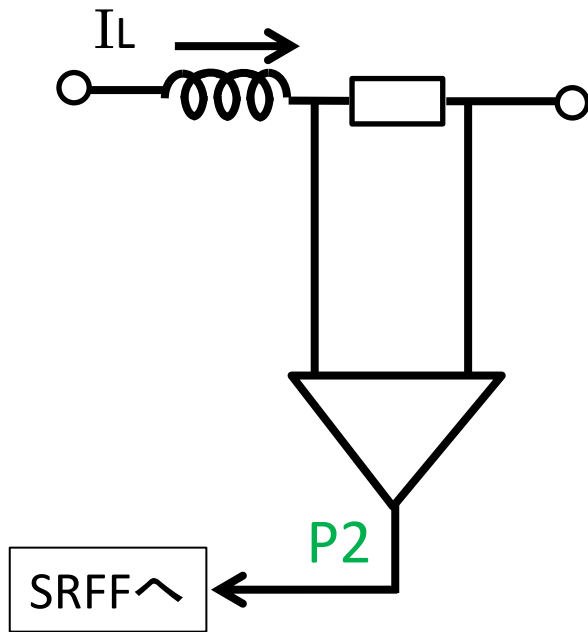


コンパレータの出力動作波形

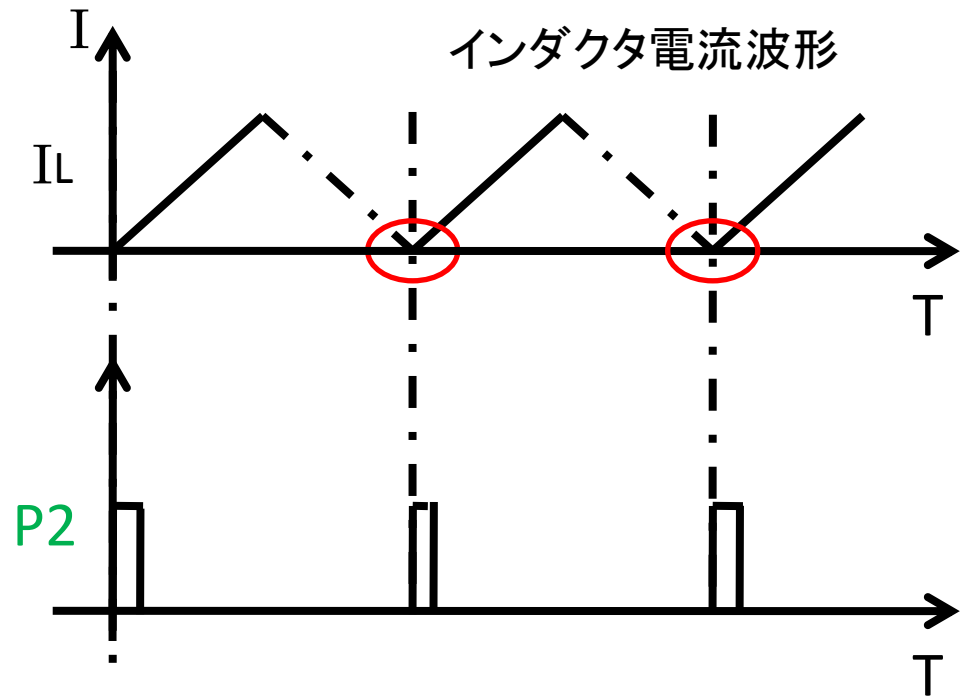
AC-DC変換器 (BCM-PFC制御方法)



制御回路部(電流検出)



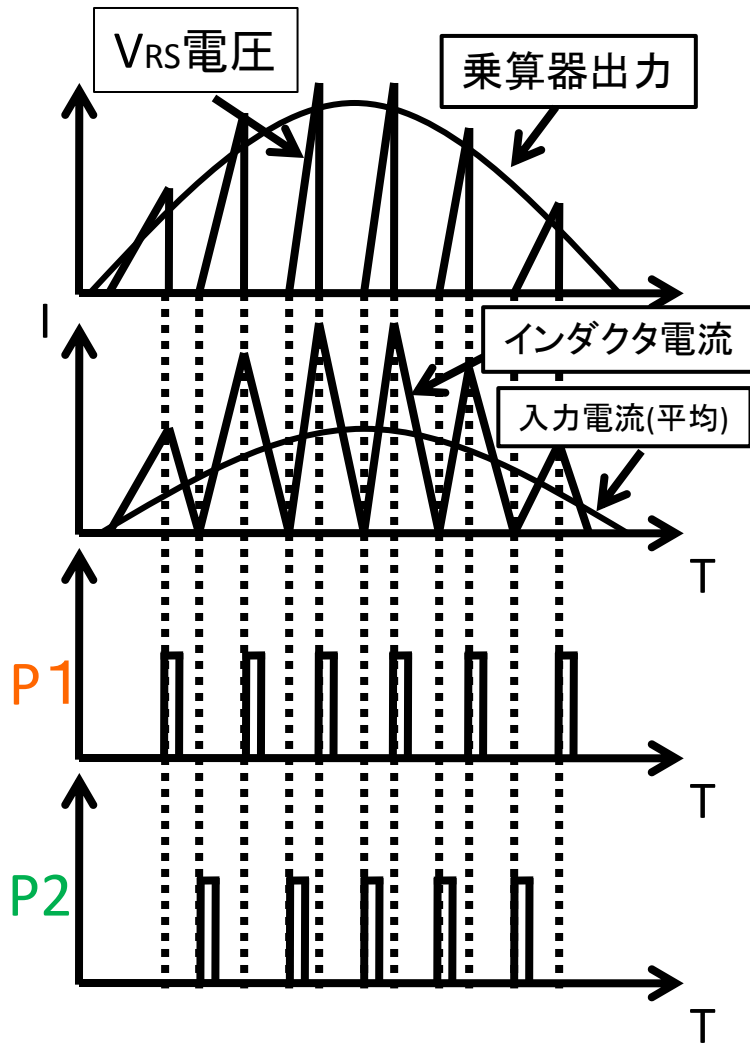
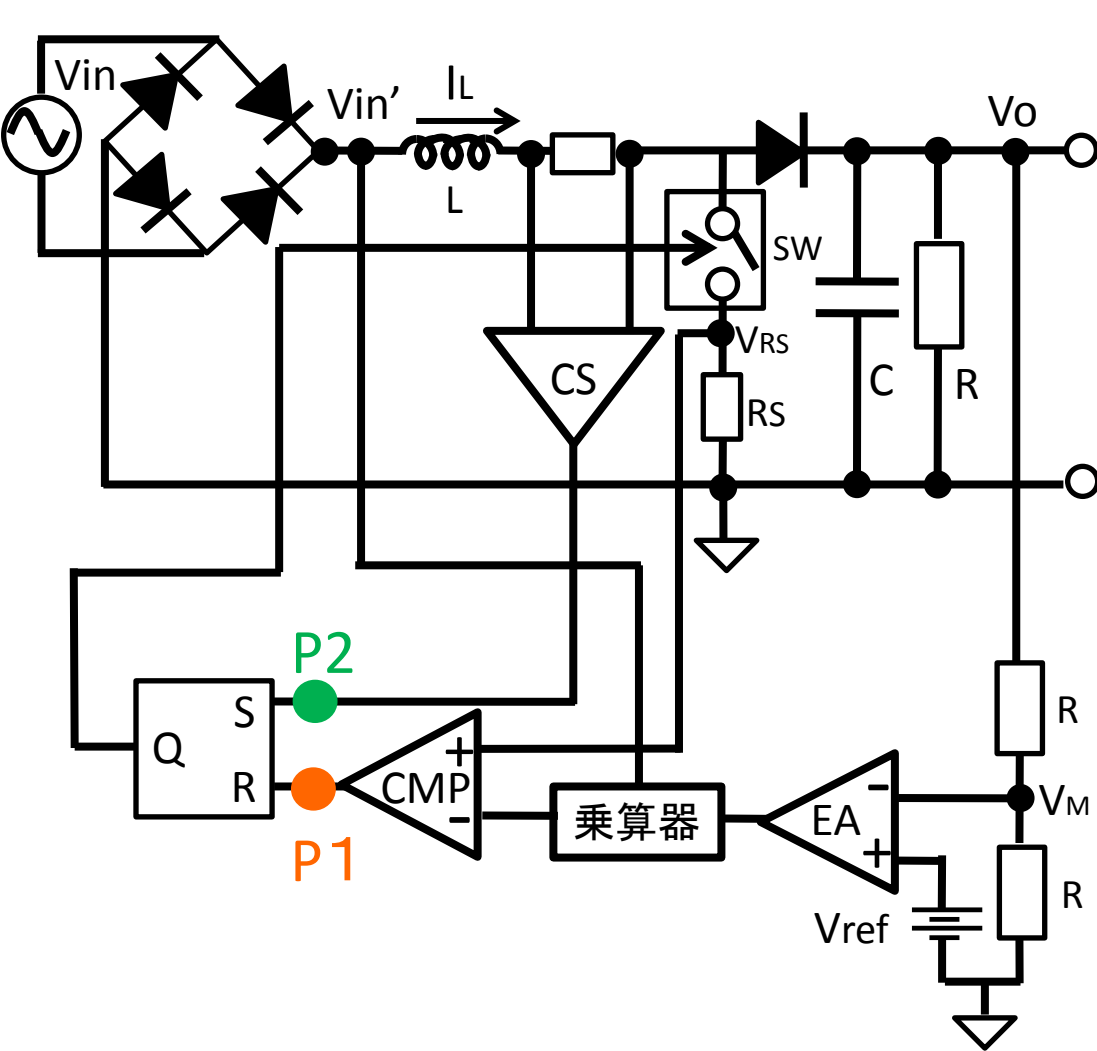
ゼロ電流検出回路



動作波形

※実線:充電、点線:放電

従来BCM-PFC(動作概要)



全体動作

従来BCM-PFC(動作概要)

乗算器の出力とVRSを比較



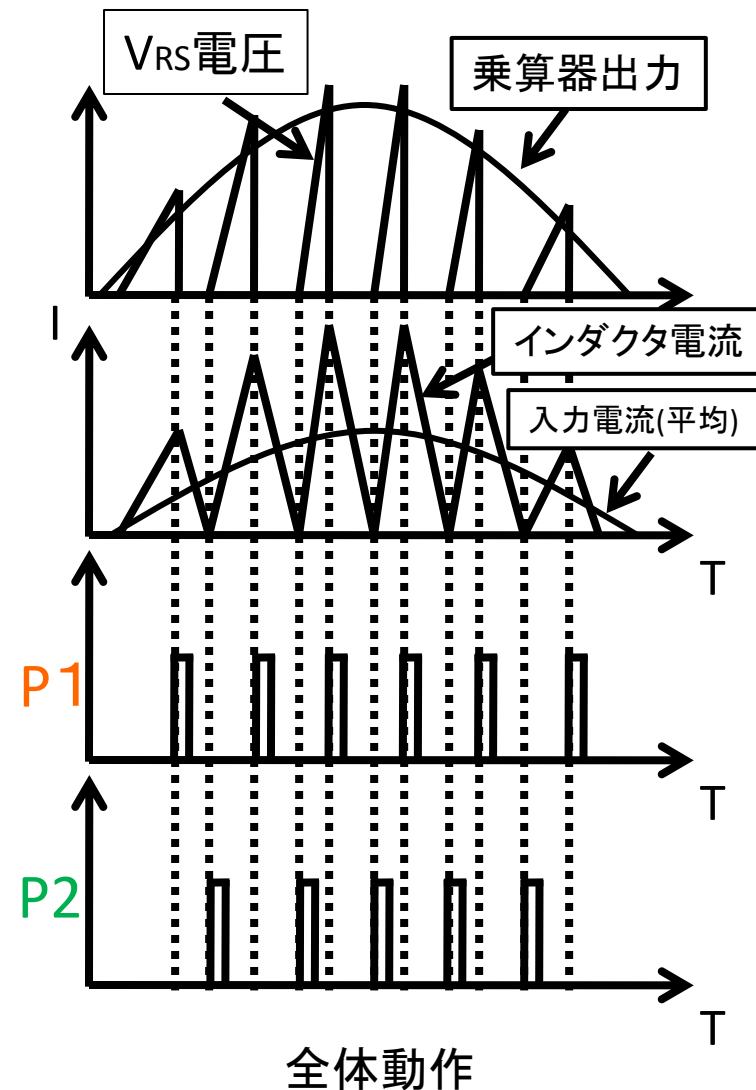
電流のピーク値を決めるVRSが正弦波状になる



インダクタ電流が正弦波状になる



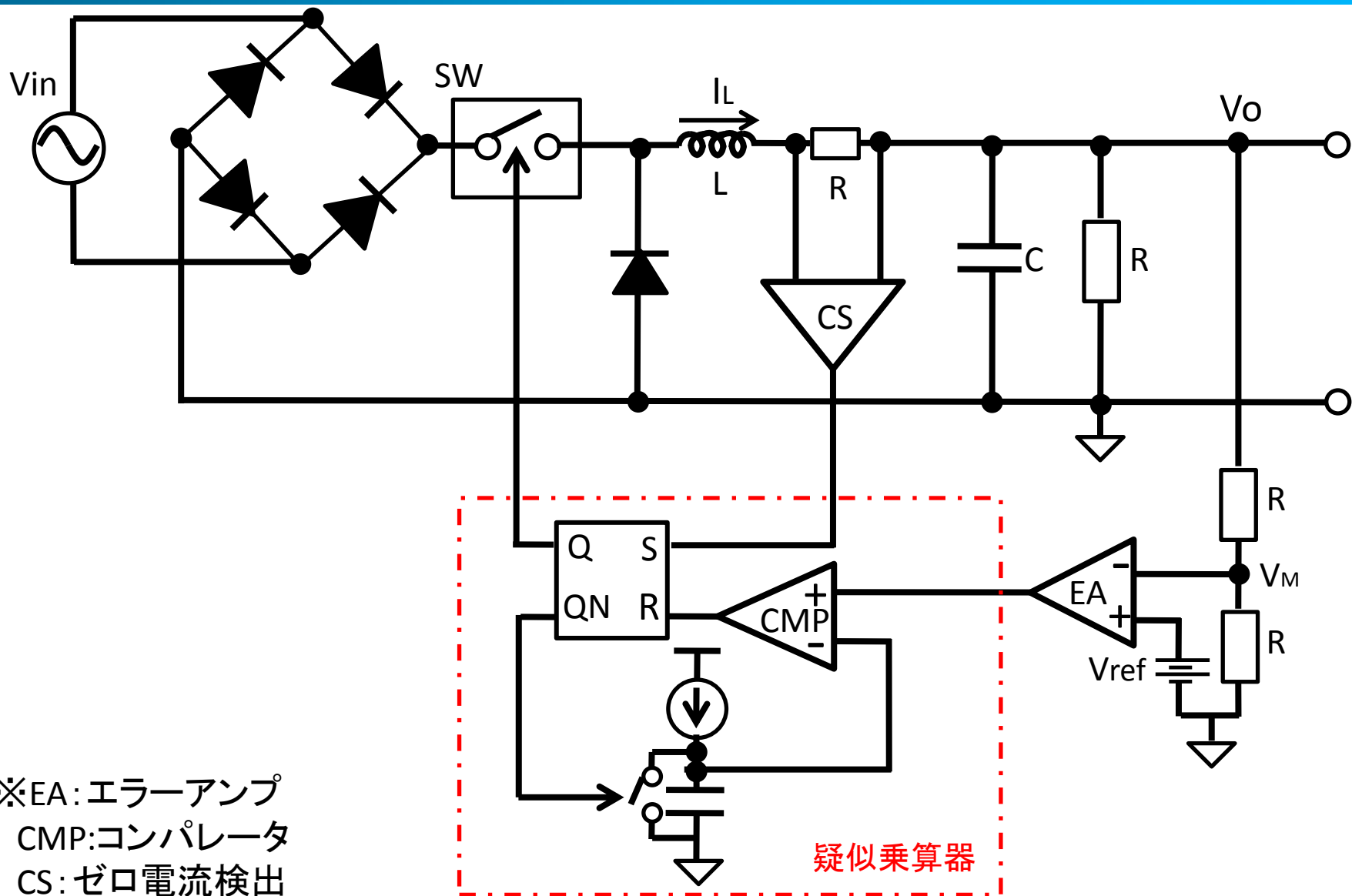
入力電流が正弦波状になる



Outline

- 研究背景と目的
- PFCについて
- PFC付AC-DC変換器
- **新提案PFC付AC-DC変換器**
- シミュレーションによる検討
- まとめ

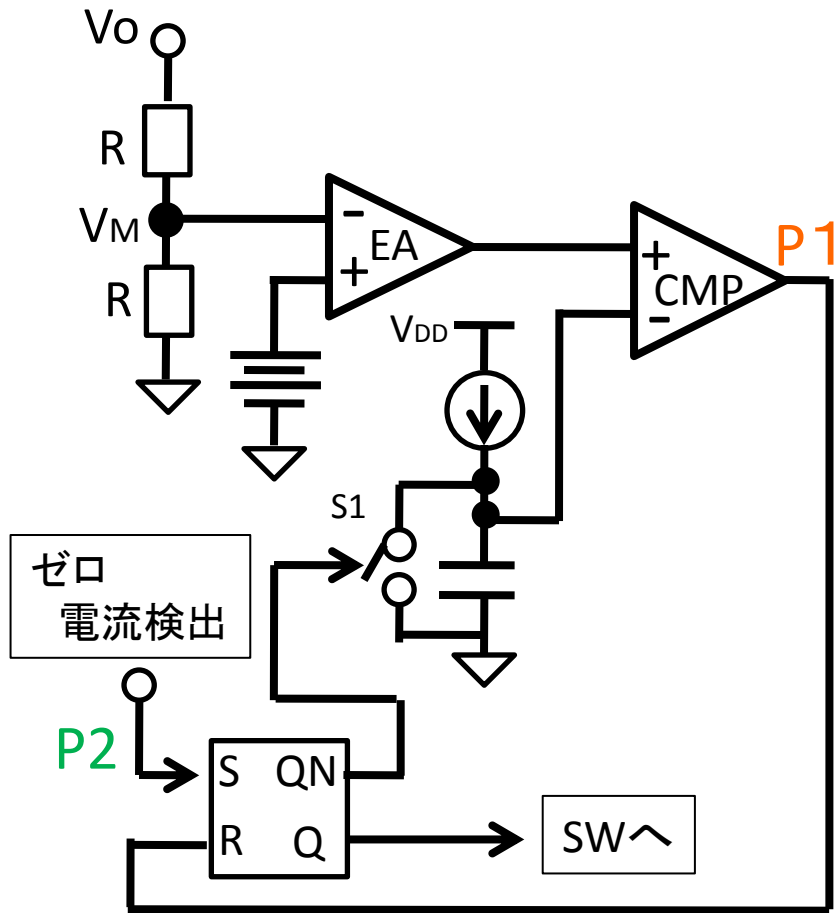
新提案PFC付降压型AC-DC変換器



※EA: エラーアンプ
 CMP: コンパレータ
 CS: ゼロ電流検出

擬似乗算器

疑似乗算回路構成

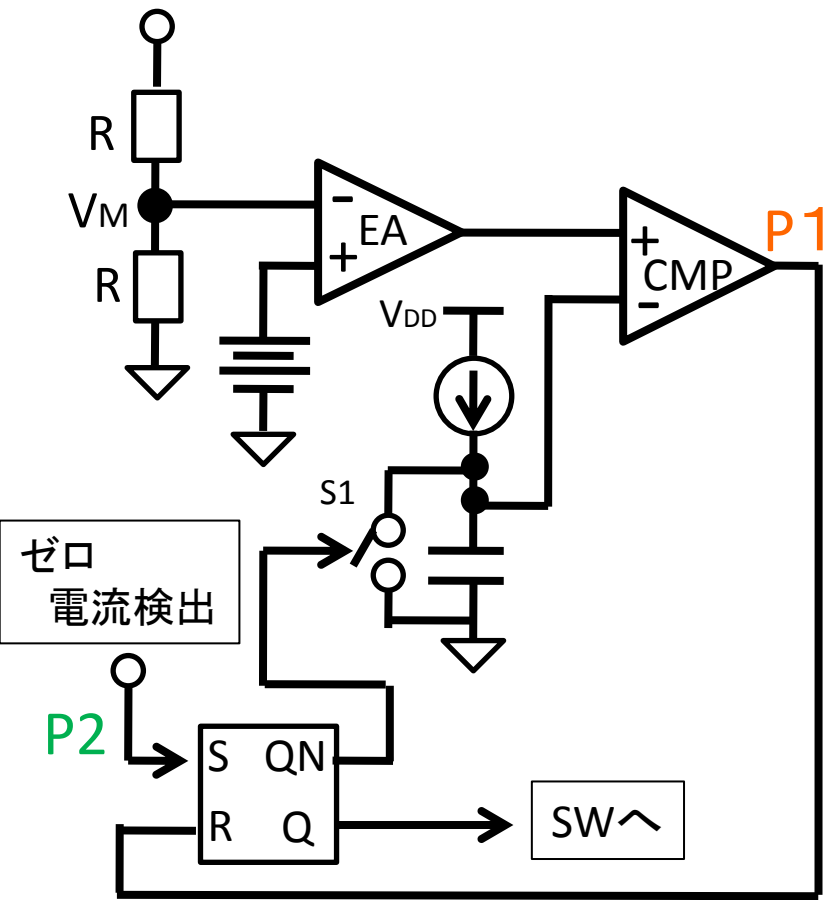


疑似乗算器回路構成

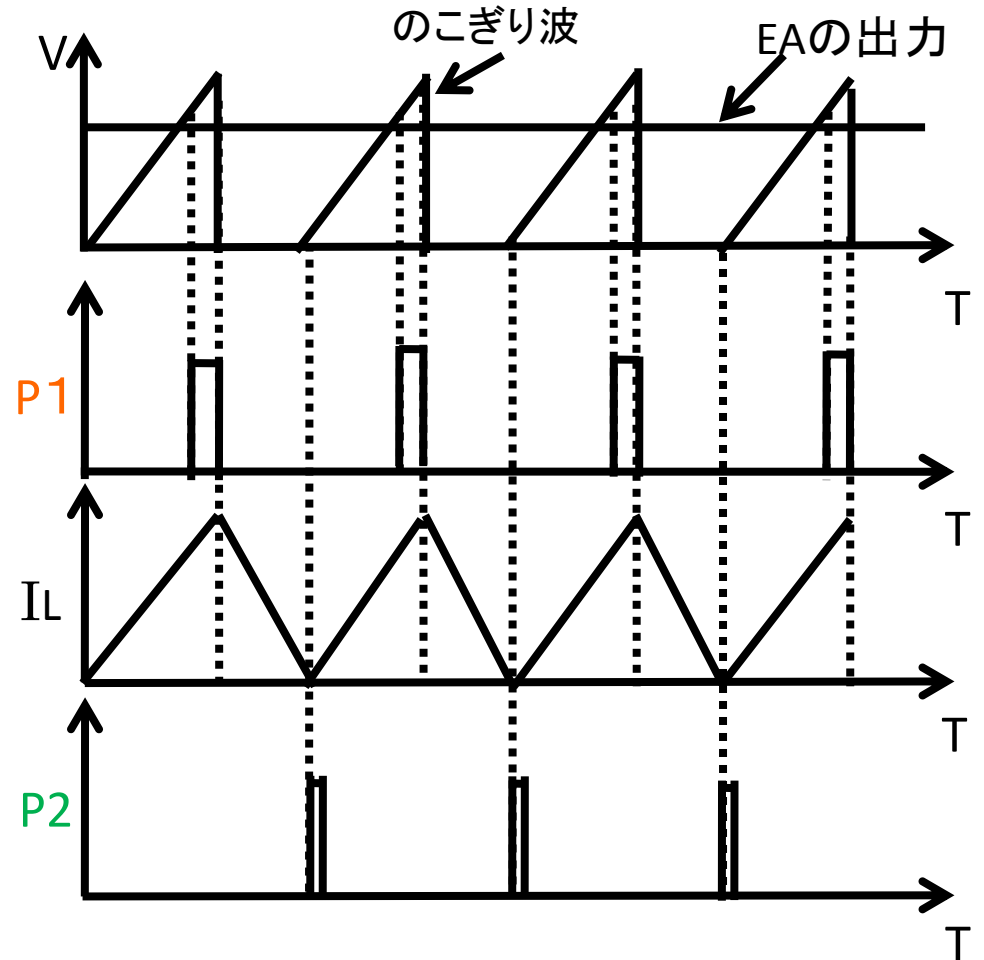
のこぎり波生成器
コンパレータ(CMP)
SRFF

疑似乗算回路

疑似乗算回路動作

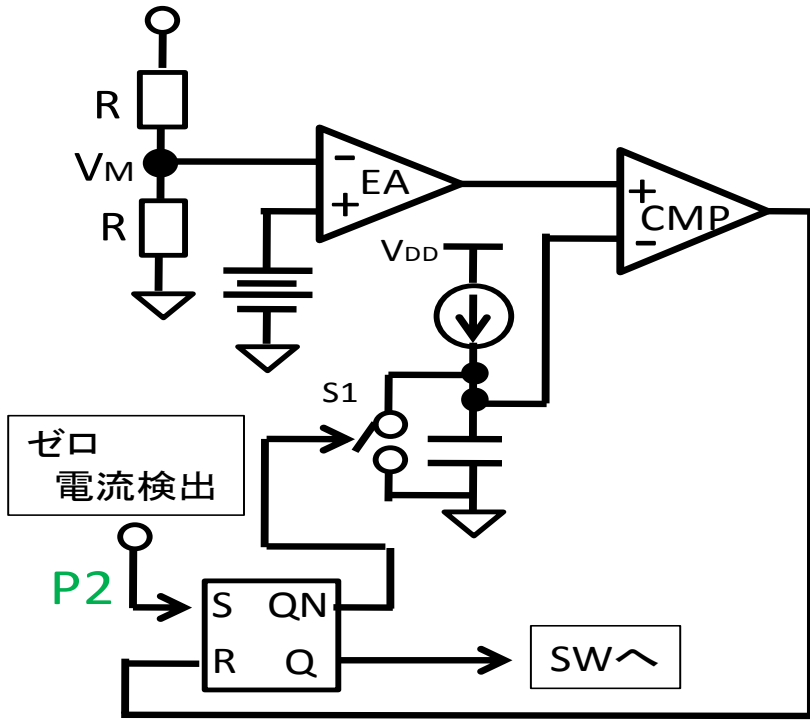


疑似乗算回路



全体動作

疑似乗算回路動作全体動作



疑似乗算回路

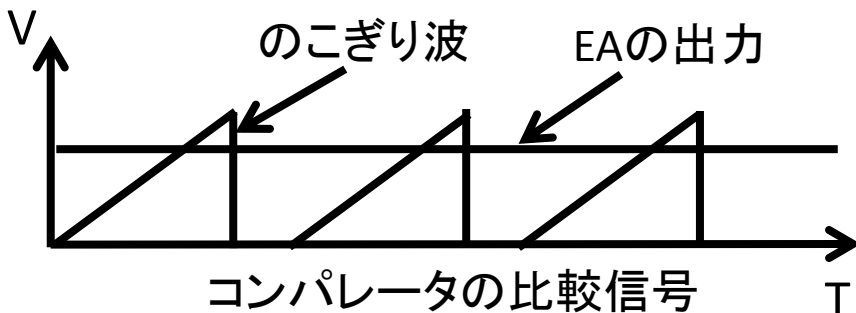
エラーアンプの出力を一定として
のこぎり波生成器のパラメータを固定
(電流源とコンデンサ)

のこぎり波の理論式 $V = \frac{i}{C} T_{OFF}$

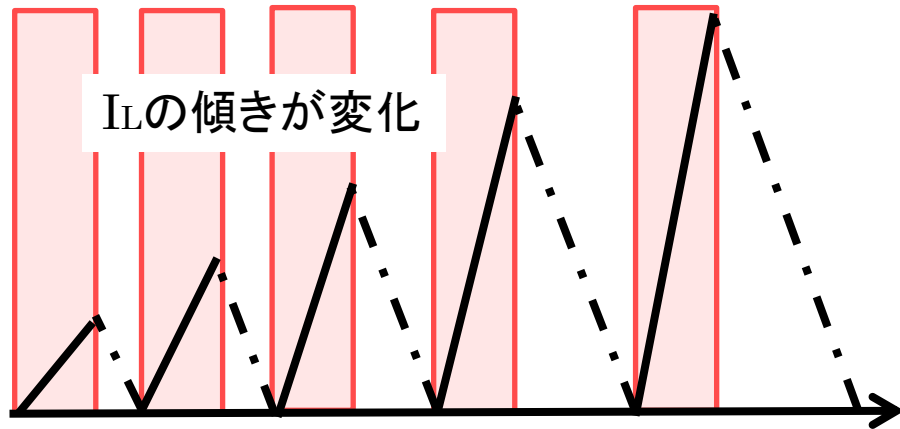


AC-DC変換器のオン時間(T_{ON})が一定

※S1の T_{OFF} = AC-DC変換器の T_{ON}



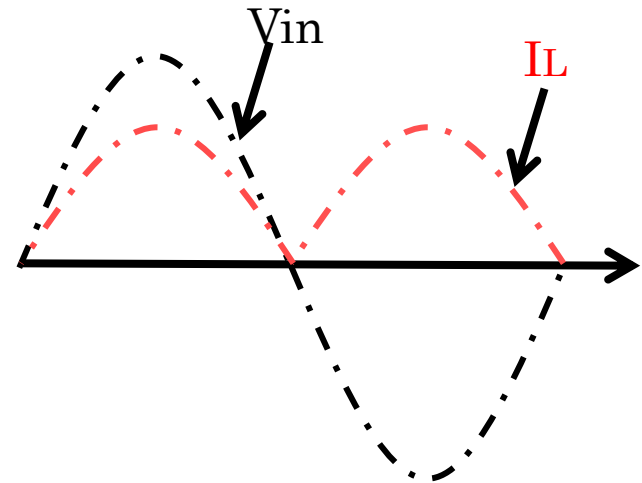
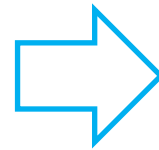
疑似乗算回路による動作概要



インダクタ電流(I_L)波形(拡大)

※実線: 充電、点線: 放電

■ SWのON時間(一定)



インダクタ電流(I_L)波形(全体)

インダクタ電流式

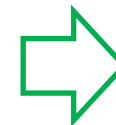
$$I_{LP} = \frac{V_i}{L} T_{ON}$$

($V_i = AC100V(50Hz)$)

※入力電圧により比例



インダクタ電流が
正弦波状になる



入力電流が
正弦波状になる

Outline

- 研究背景と目的
- PFCについて
- PFC付AC-DC変換器
- 新提案PFC付AC-DC変換器
- シミュレーションによる検討
- まとめ

シミュレーション確認(構成要素)

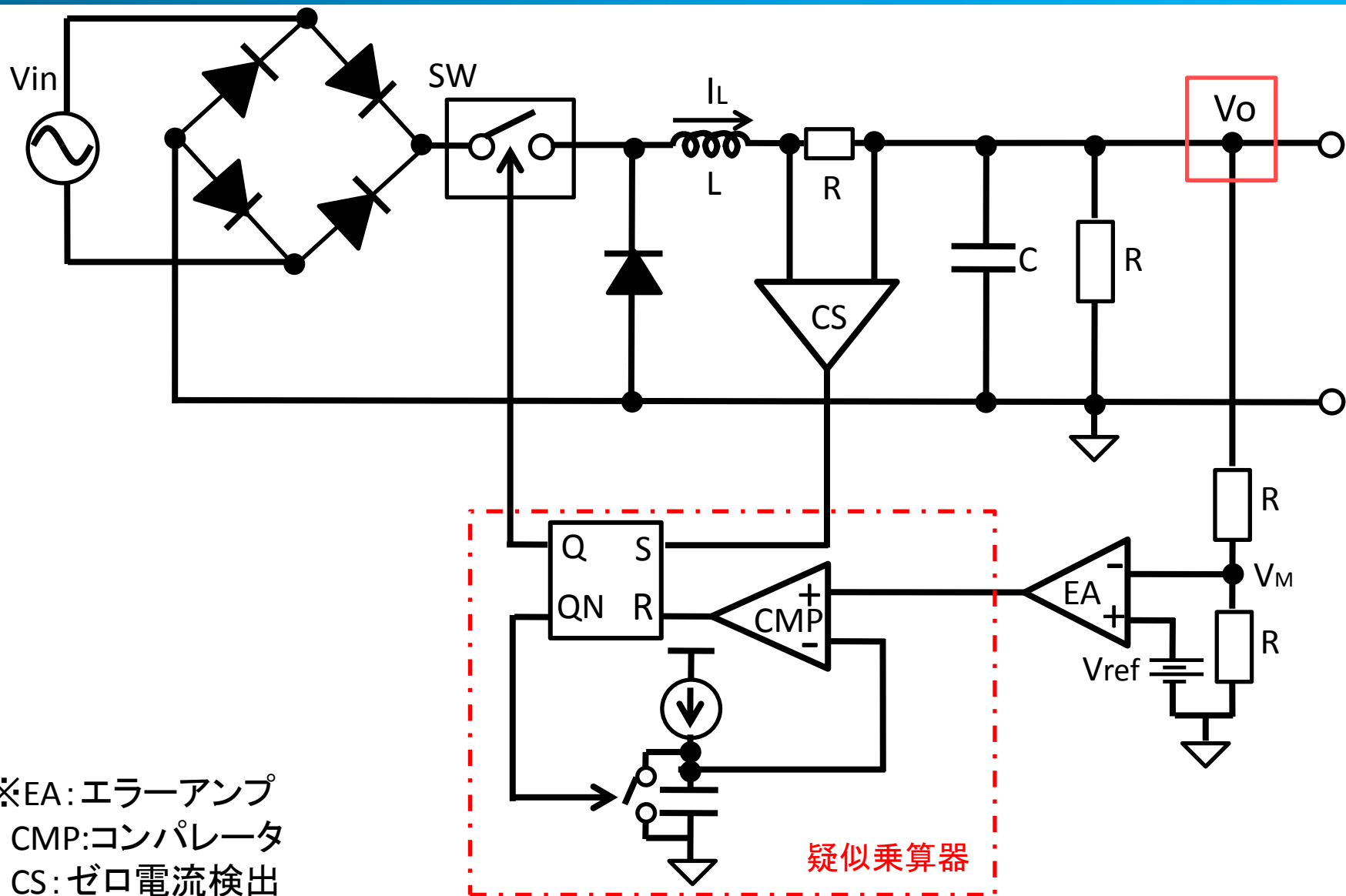
回路の構成要素

V_{in}	AC100V(50Hz)	(家庭用電源)
V_o	24V	(電気機器の電源電圧)
R_o	24 Ω	
I_o	1A	
L	50 μ H	
C	47mF	
V_{ref}	6V	

目標仕様

- ・ 力率0.95以上
- ・ 出力電圧リップル $\Delta \pm 0.24$ V以下

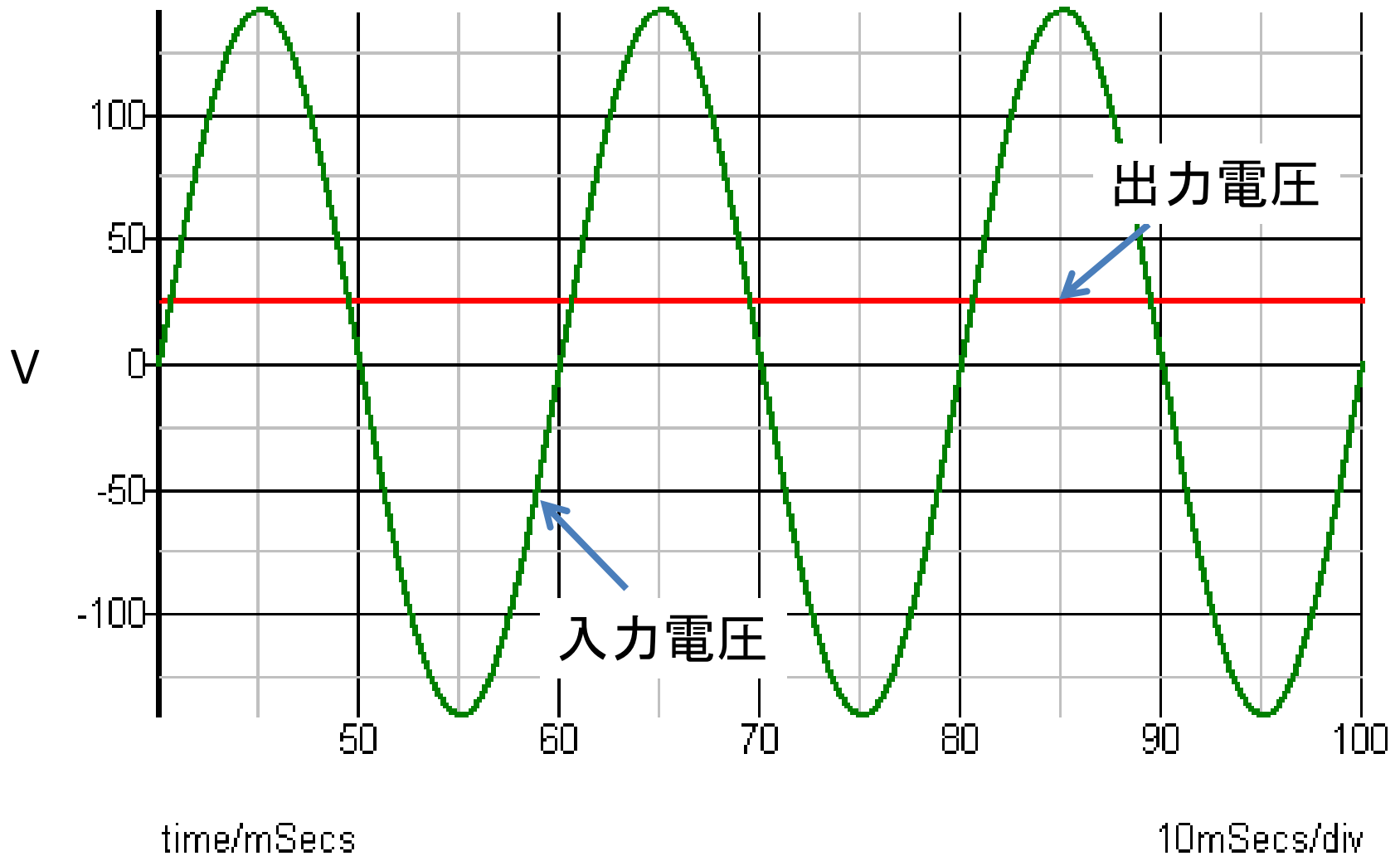
新提案PFC付降压型AC-DC変換器



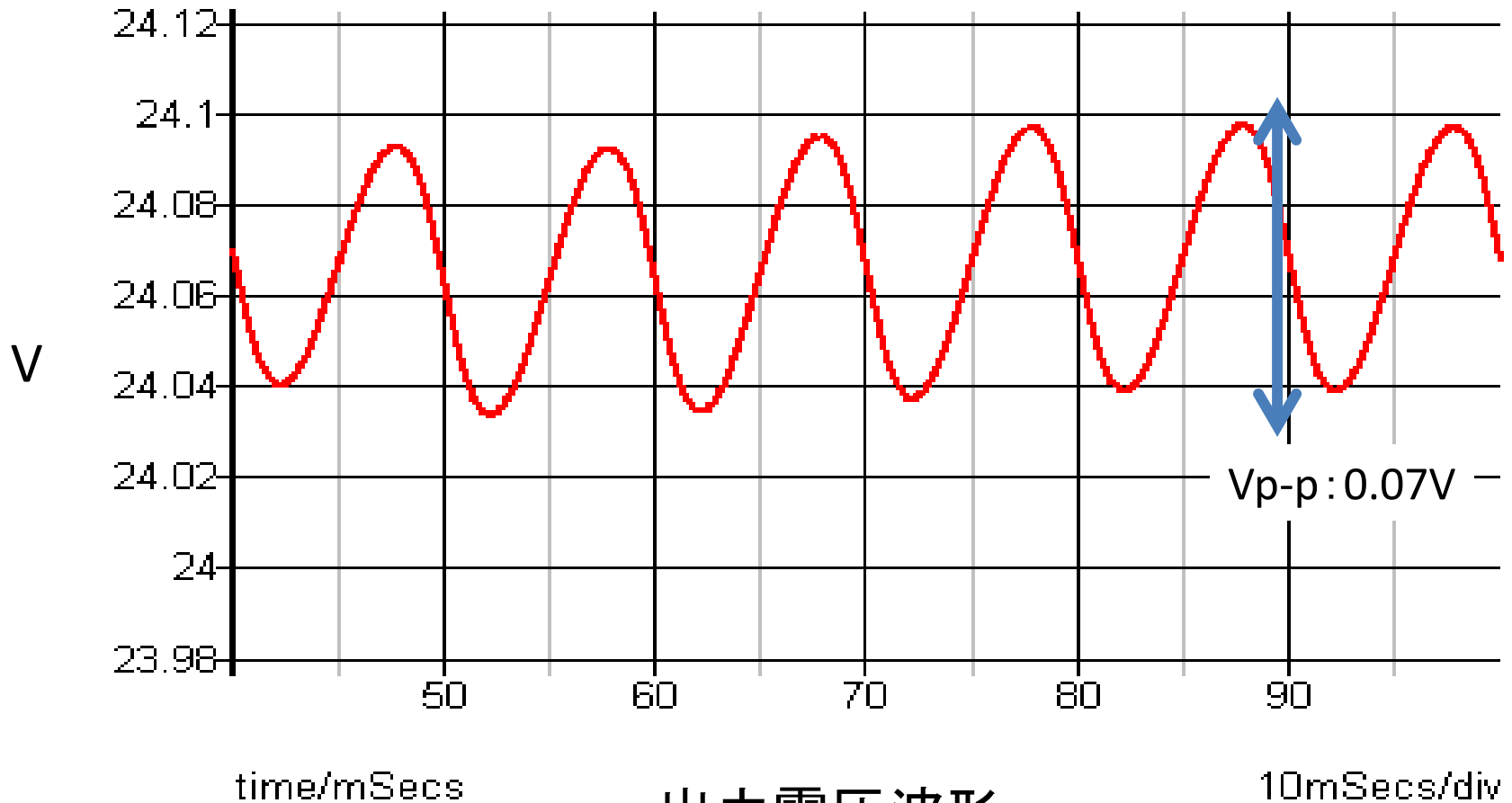
※EA: エラーアンプ
 CMP: コンパレータ
 CS: ゼロ電流検出

疑似乗算器

入力電圧と出力電圧(波形)



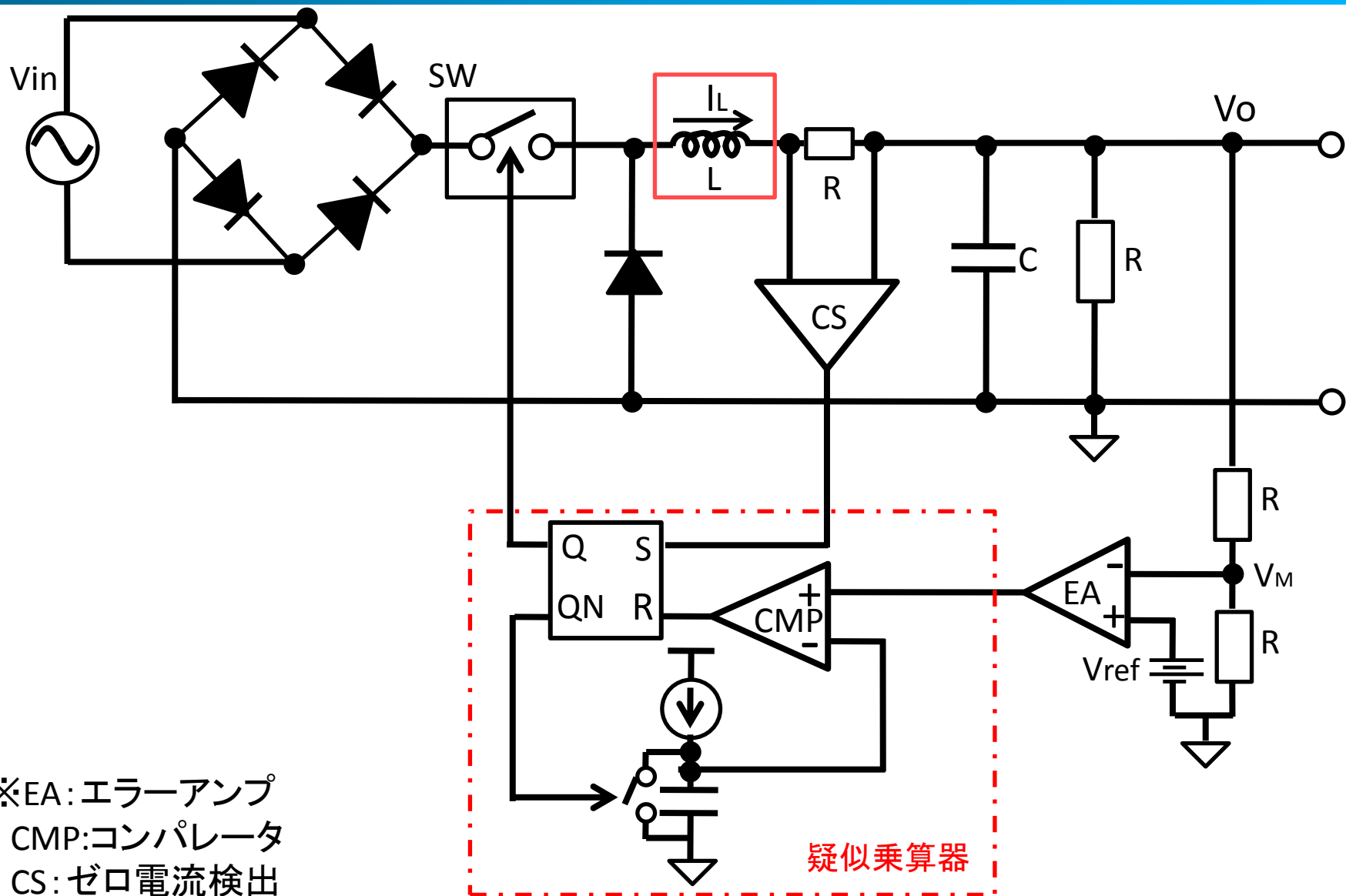
出力電圧(拡大)



出力電圧波形

出力電圧が設定通り動作できていることを確認
出力電圧のリプルは $V_{p-p}:0.07V$ であった。

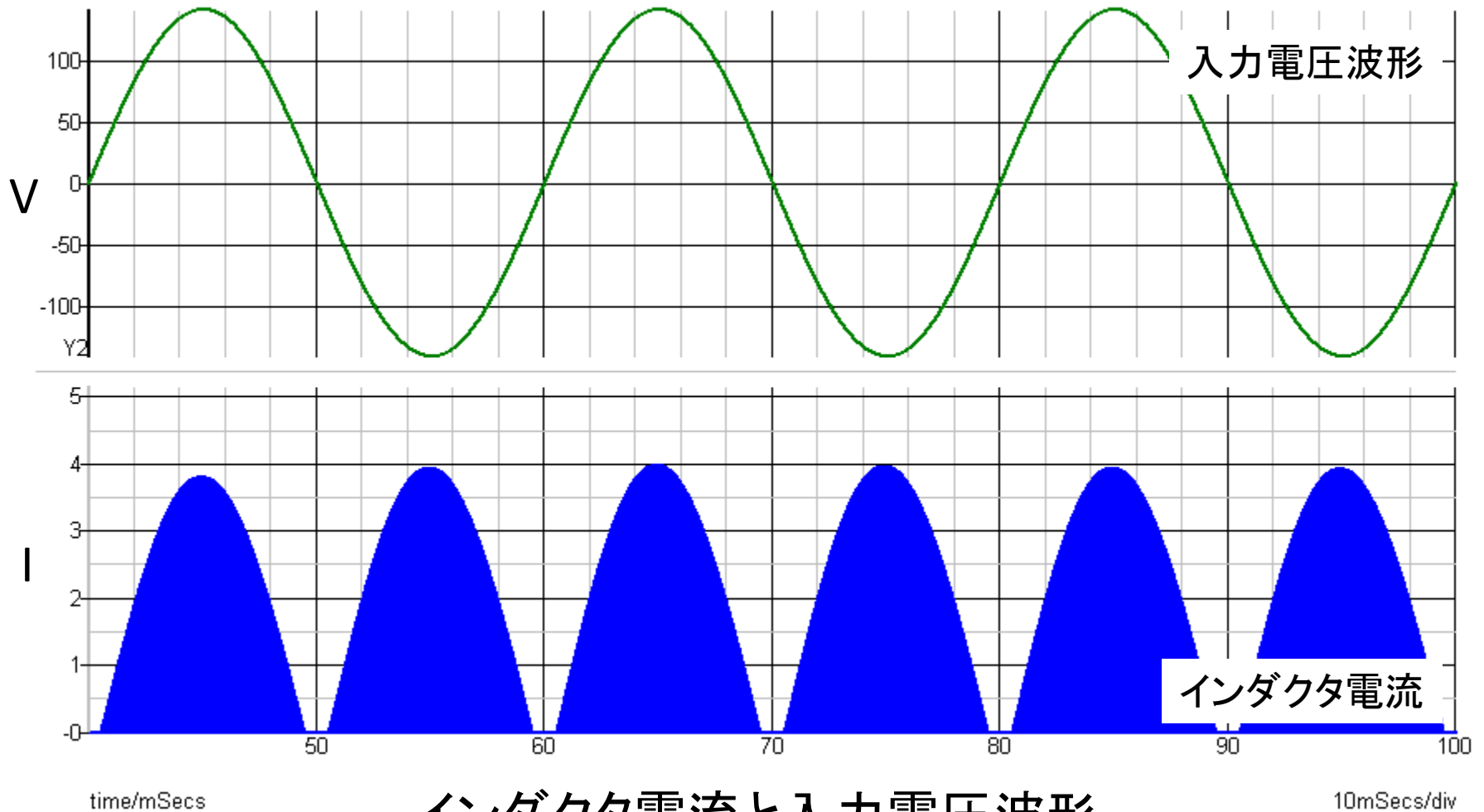
新提案PFC付降圧型AC-DC変換器



※EA: エラーアンプ
 CMP: コンパレータ
 CS: ゼロ電流検出

疑似乗算器

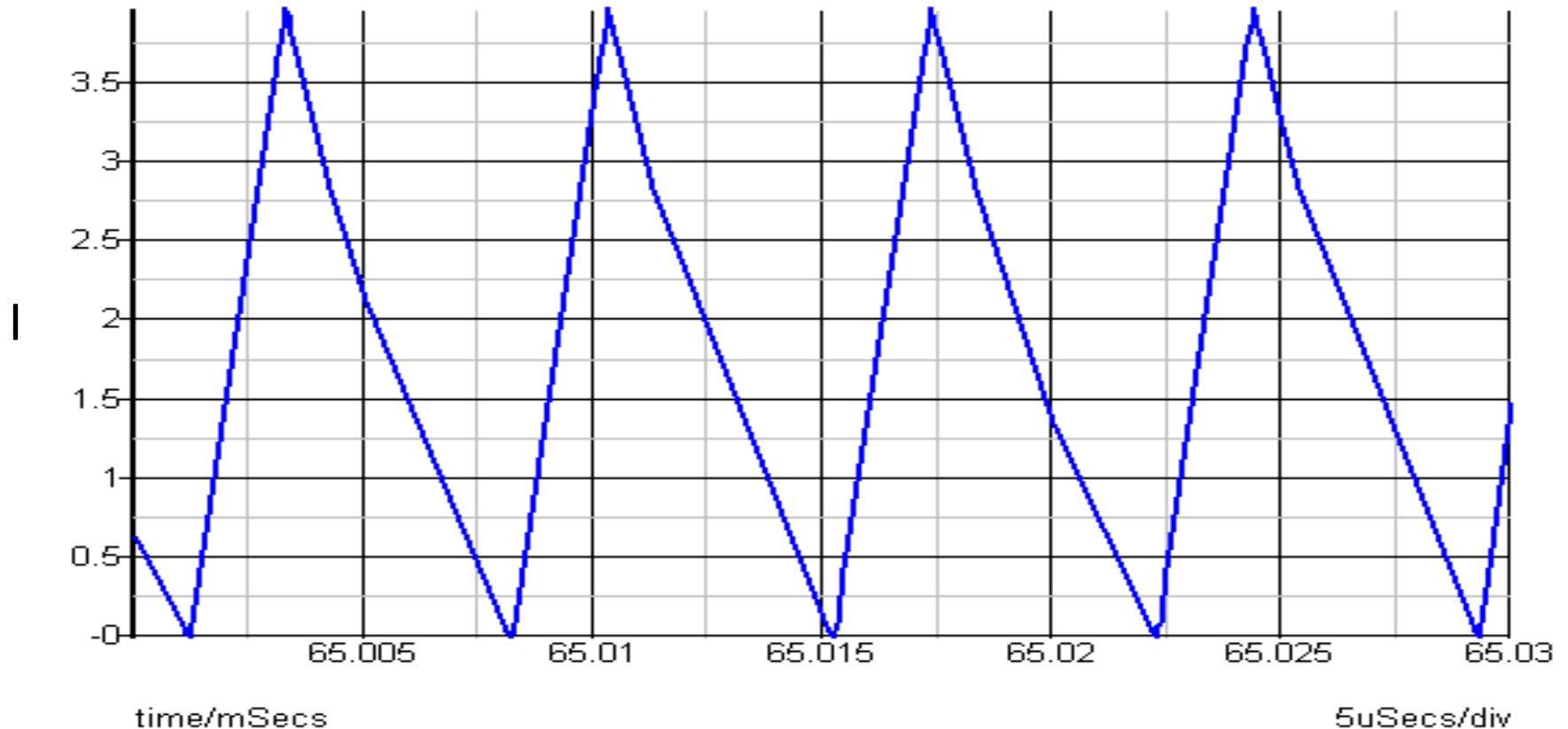
インダクタ電流動作確認(SIM波形)



インダクタ電流と入力電圧波形

インダクタ電流の波形を見るとBCMで動作していることが確認できる

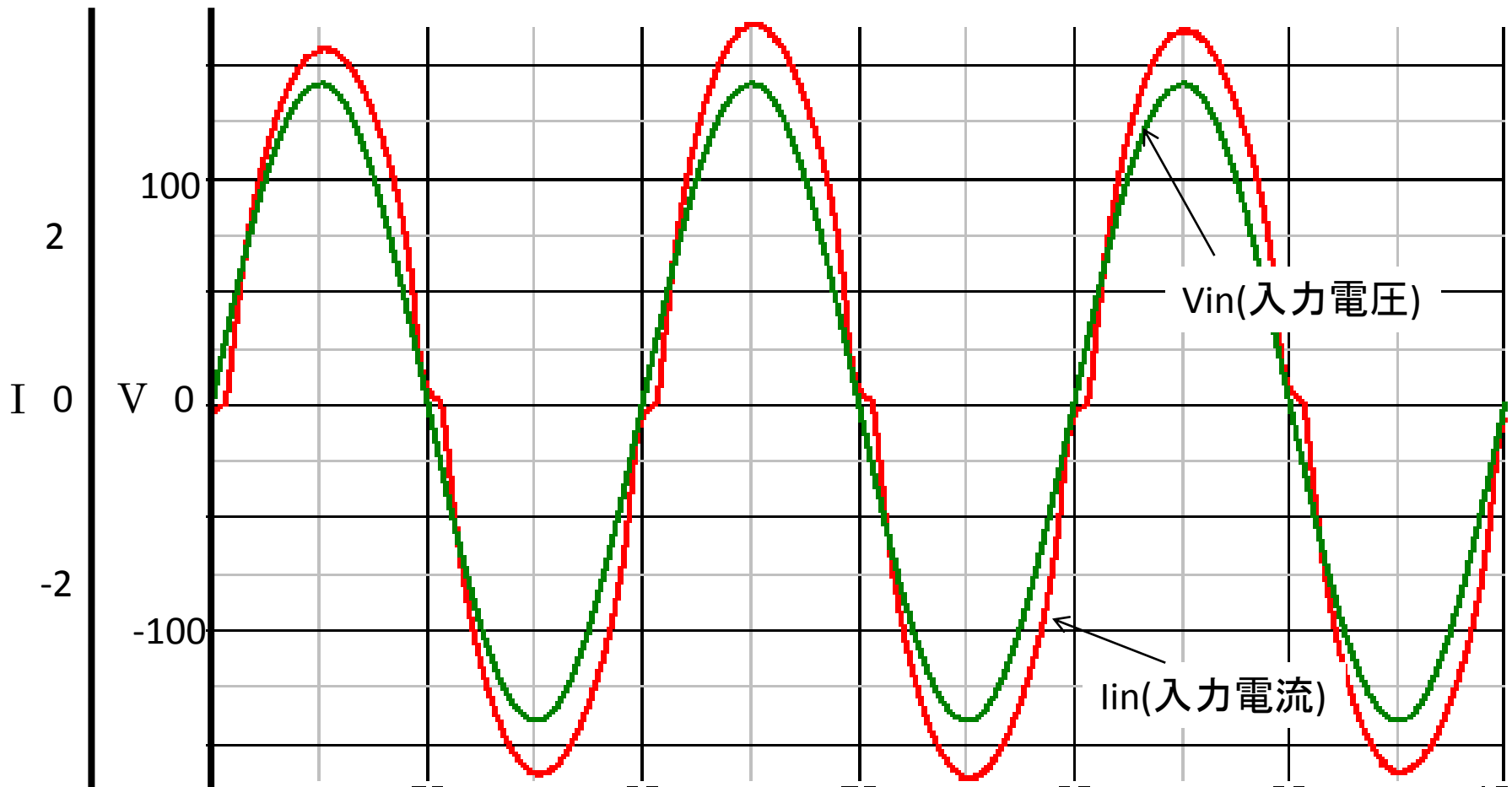
インダクタ電流(SIM波形拡大)



インダクタ電流波形

インダクタ電流が0スイッチングしていることが確認できる

シミュレーション波形(VinとIin)



Vin(入力電圧)とIin(入力電流)の波形
従来と同様の力率0.98を達成

Outline

- 研究背景と目的
- PFCについて
- PFC付AC-DC変換器
- 新提案PFC付AC-DC変換器
- シミュレーションによる検討
- **まとめ**

まとめ

まとめ

- 疑似乗算回路を用いた新提案PFC付AC-DC変換器についての提案を行い考案通り動いていることを確認
- 疑似乗算回路を用いることで小型化を達成
- 目標仕様を達成
(力率:0.98,電圧リップル $\pm 0.24\text{V}$ 以下)
- 現在実装回路による動作確認中