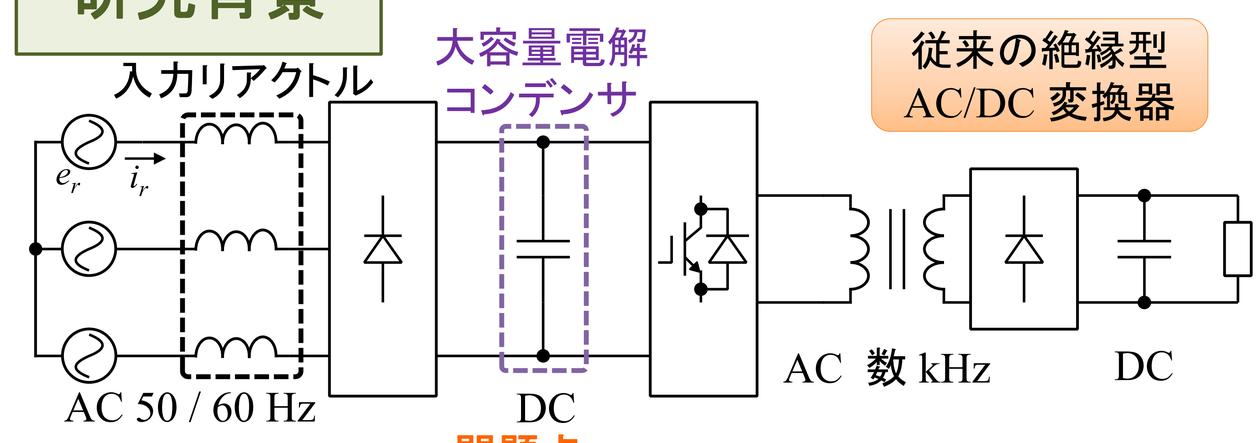
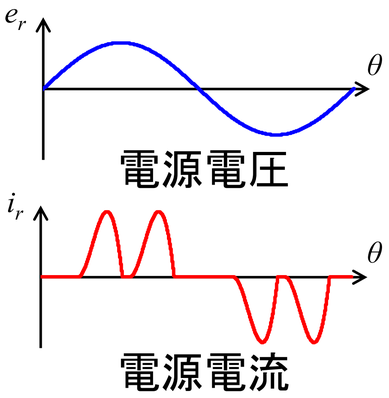
高周波出力三相-単相マトリックスコンバータの制御法

A Control Method for Three-Phase to High-Frequency Single-Phase Matrix Converter

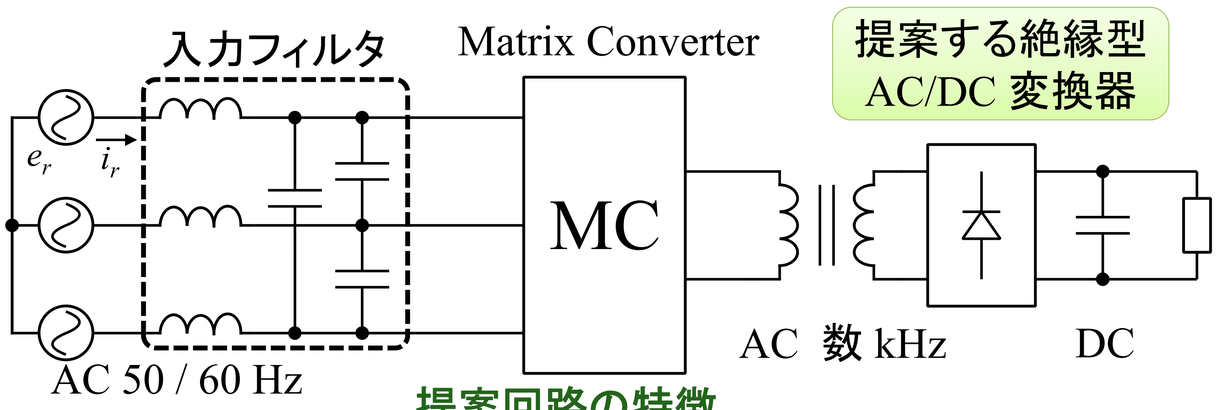
研究背景

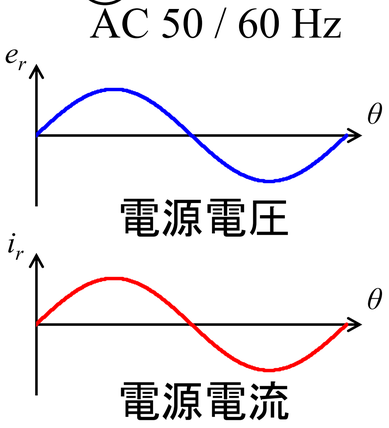




問題点

- AC/DC/高周波 AC/DC の三段階の変換
  ⇒ 低効率
- 大容量の電解コンデンサが必要
  ⇒ 大型・短寿命
- 電源力率が低い（電源電流のひずみ 大）
  ⇒ 入力リアクトルの大型化

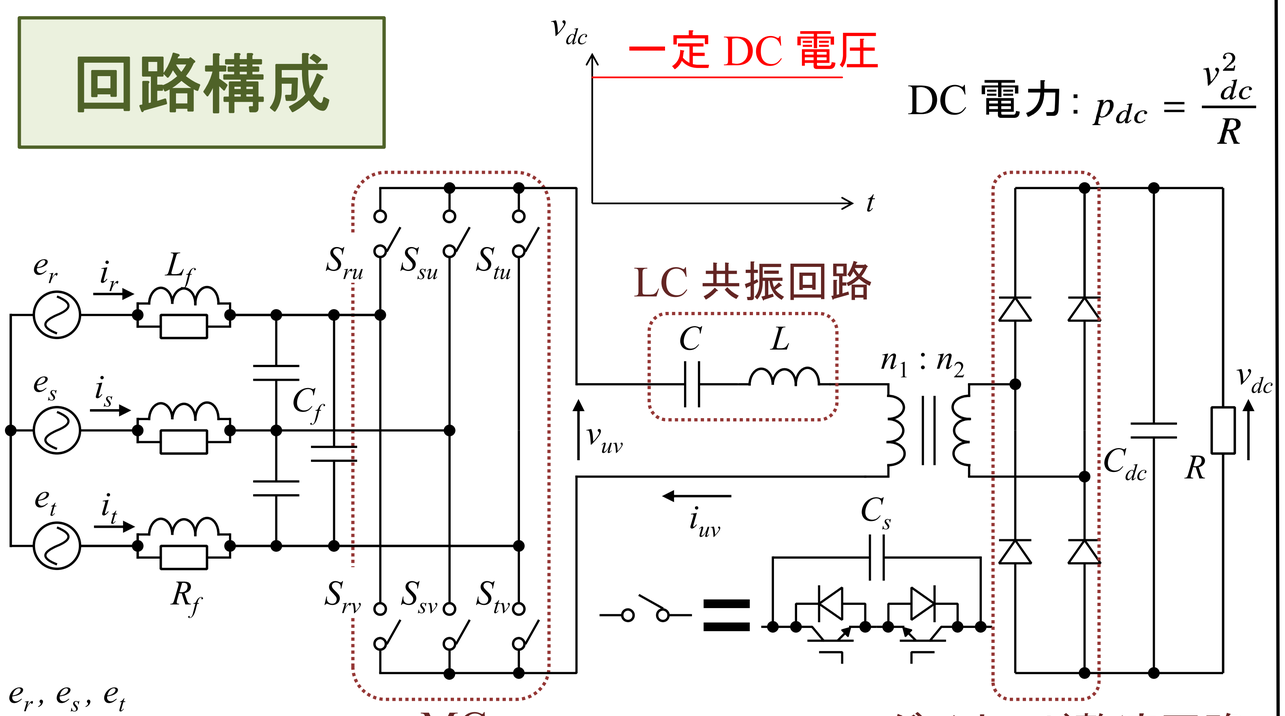


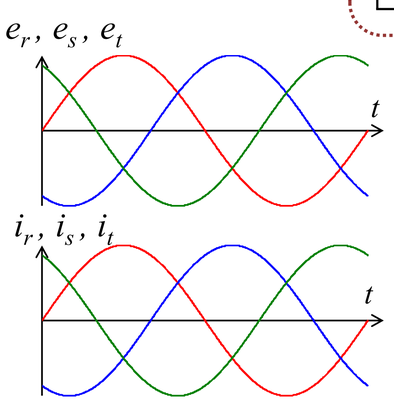


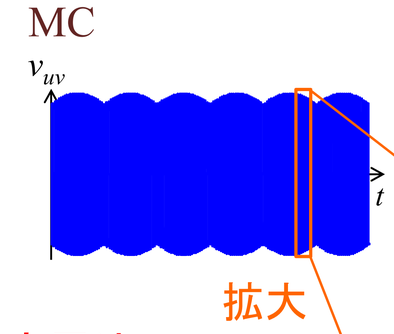
提案回路の特徴

- AC/高周波 AC/DC の二段階の変換
  ⇒ 高効率
- 大容量の電解コンデンサが不要
  ⇒ 小型・長寿命
- 電源力率 = 1（正弦波状の電源電流）
  ⇒ 入力フィルタの小型化

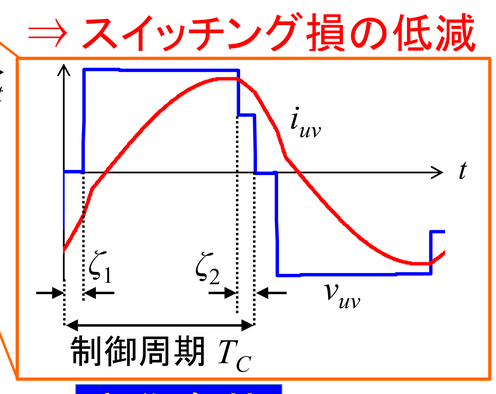
回路構成







ソフトスイッチングの適用
⇒ スイッチング損の低減



操作変数

① ζ_1
② ζ_2
③ 出力周波数 $f_{out} = 1 / (2T_C)$

数値解析により関係式を解く

制御条件

① 電源力率 = 1, 正弦波 i_r, i_s, i_t
② 指令値一定の DC 電力 p_{dc}
③ 出力力率最大のソフトスイッチング

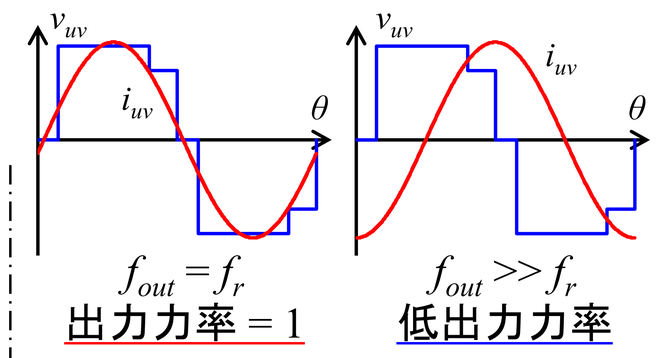
※ 実機では制御周期が 50 μs 程度のため，ルックアップテーブルを使用する

出力力率最大のソフトスイッチング

□ ソフトスイッチング条件：

1. v_{uv} 増加時に $i_{uv} < 0$
2. v_{uv} 減少時に $i_{uv} > 0$
3. v_{uv} 変化時に i_{uv} の極性変化なし

□ 出力力率と出力周波数

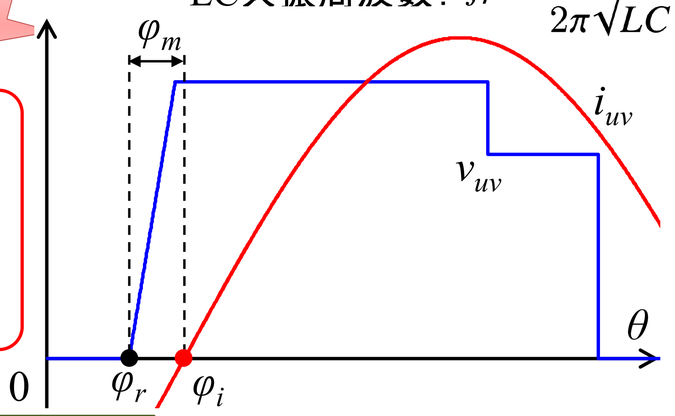


f_{out} により出力力率を制御可能

LC共振周波数 : $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

出力力率最大のソフトスイッチング条件

$\varphi_i = \varphi_r + \varphi_m$
v_{uv} 最後の立上りの位相 : φ_r
i_{uv} の位相 : φ_i
最小位相余裕 : φ_m



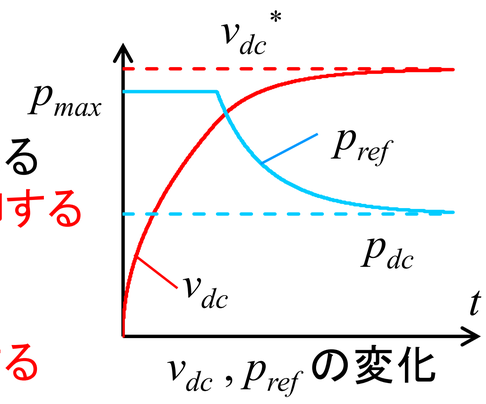
電圧フィードバック制御

制御遅れや素子のばらつきによる v_{dc} の誤差をフィードバックより補償する必要がある
⇒ 負荷への伝送電力 p_{ref} により v_{dc} を制御する

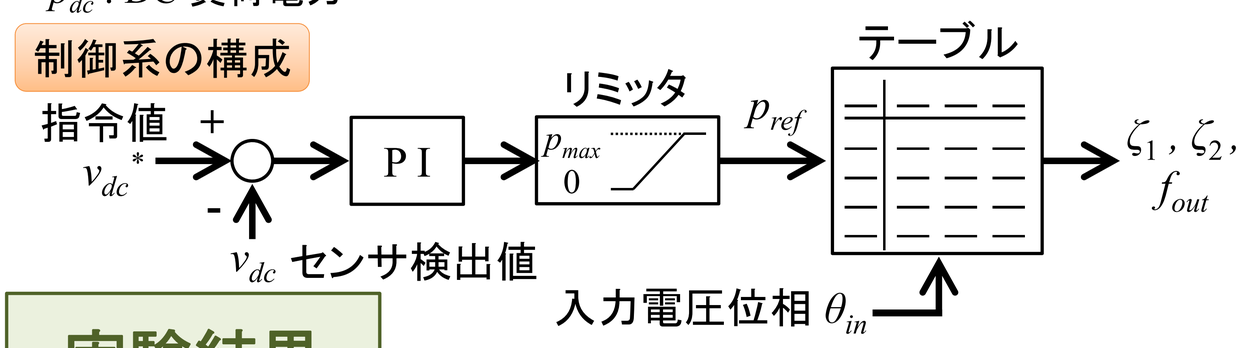
- $p_{ref} > p_{dc}$: v_{dc} 増加
- $p_{ref} < p_{dc}$: v_{dc} 減少

p_{ref} : MC 伝送電力
p_{dc} : DC 負荷電力

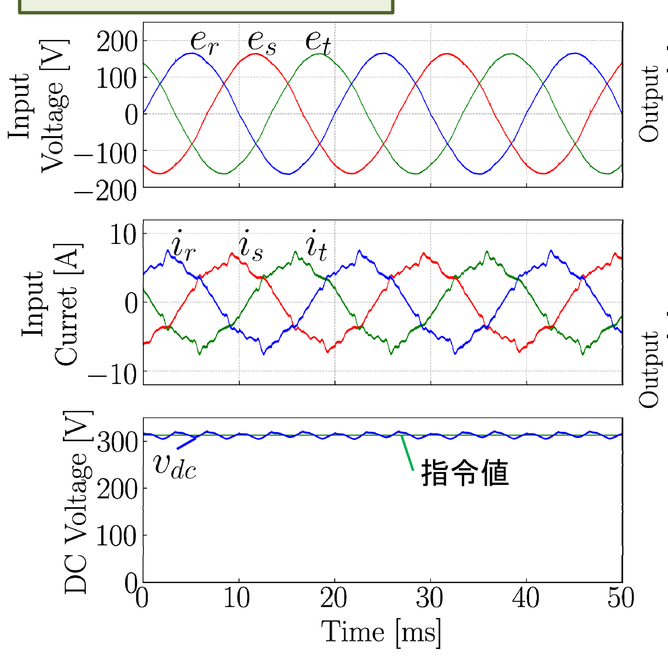
⇒ p_{ref} により v_{dc} を制御する

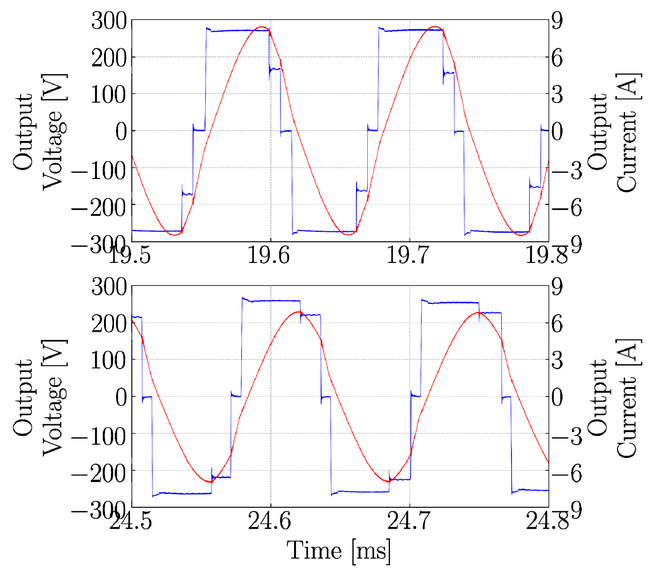


制御系の構成



実験結果





実験条件

パラメータ	値
共振インダクタ L	856 μH
共振コンデンサ C	645 nF
DC 平滑コンデンサ C_{dc}	40 μF
スナバコンデンサ C_s	1.0 nF
負荷抵抗 R	125 Ω
フィルタインダクタ L_f	688 μH
フィルタコンデンサ C_f	30 μF
ダンピング抵抗 R_f	2.0 Ω
DC 電圧指令値 v_{dc}^*	313 V
出力周波数 f_{out}	7.2 ~ 14.0 kHz

- 電源電圧 v_r, v_s, v_t に対して，出力電圧 v_{uv} は高周波電圧
- 電源電流 i_r, i_s, i_t
  1. フィルタの影響を考慮すると，電源力率 = 1
  2. 正弦波電流
- DC 電圧 = 指令値
- 出力力率最大のソフトスイッチング

まとめ

- MC 用いた絶縁型 AC/DC 変換器は小型・長寿命・高効率
- 入力力率を 1 とする正弦波入力電流を実現
- 出力力率最大のソフトスイッチングを達成