

ATAC回路を用いた磁界結合型ワイヤレスシステムの 磁界高調波抑制技術

○柳田 朋則、町田 恒介、浅見 幸司
圓道 祐樹、小林 春夫

株式会社アドバンテスト
群馬大学

研究目的

目的

磁界結合型ワイヤレスシステムの
共振周波数一致と磁界高調波抑制の両立

アプローチ

ATACと高調波抑制スイッチングパターン技術を応用

ATAC: Automatic Turning Assist Circuit

内容

- 研究背景
- ATAC回路の紹介
- 高調波抑制スイッチングパターン
- 提案手法のシミュレーション
- まとめ

内容

- 研究背景
- ATAC回路の紹介
- 高調波抑制スイッチングパターン
- 提案手法のシミュレーション
- まとめ

ワイヤレス給電の種類と特徴

ワイヤレス給電



電気自動車やモバイル電子機器の給電に期待

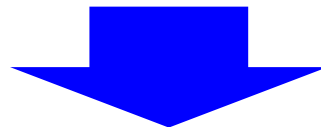
手法と特徴

	電磁誘導	磁界結合	電界共鳴	電波	レーザー
伝送媒体	磁界	磁界	電界	マイクロ波	光
距離	数cm	～数m	数mm	数m～	数m～
位置の自由度	固定	3次元	平面	3次元	3次元
距離の自由度	不可能	可能	可能	可能	可能
効率	～90%	～90%	～90%	～40%	～30%

2018/3/10 磁界結合型は移動自由度と給電効率に優れている

磁界結合型の問題点

- Q値が100以上の共振器
- 抵抗の少ないLやC
- 送受信機の高精度な共振周波数調整
- 電源と送信機の高精度な共振周波数調整
- D級アンプ構成 → 磁界高調波発生



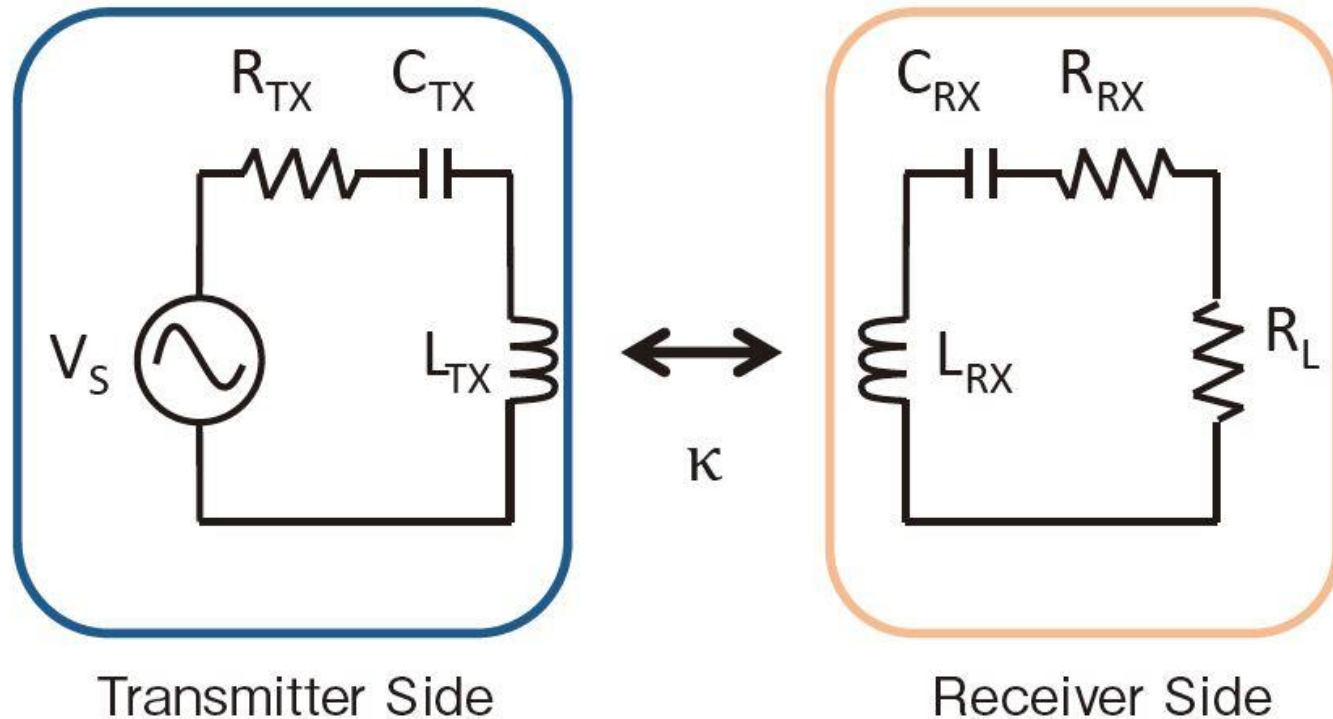
提案手法

共振周波数を自動調整、磁界高調波を抑制するシステム

内容

- 研究背景
- **ATAC回路の紹介**
- 高調波抑制スイッチングパターン
- 提案手法のシミュレーション
- まとめ

磁界結合型の等価回路



$$Q_{TX} = \frac{\omega_o L_{TX}}{R_{TX}}, \quad Q_{RX} = \frac{\omega_o L_{RX}}{R_{RX}}$$

$$\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L_{TX} C_{TX}}} = \frac{1}{\sqrt{L_{RX} C_{RX}}}$$

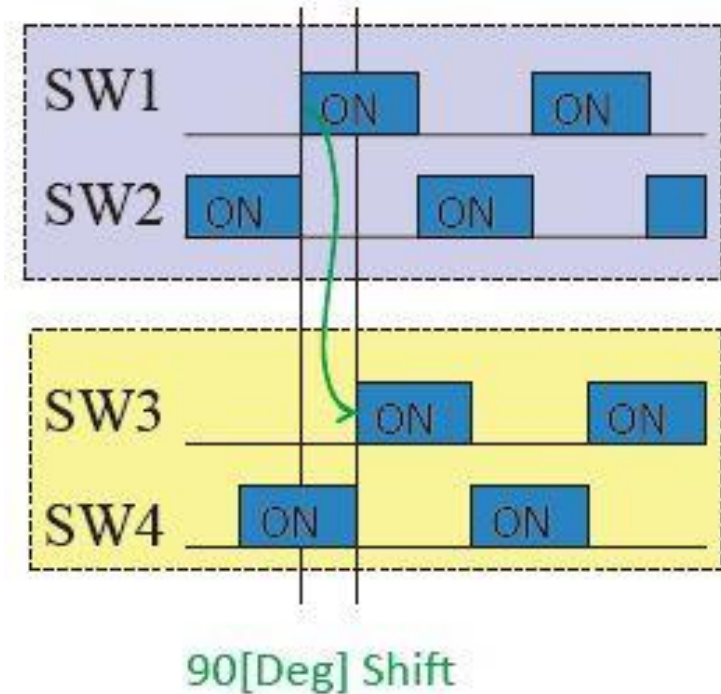
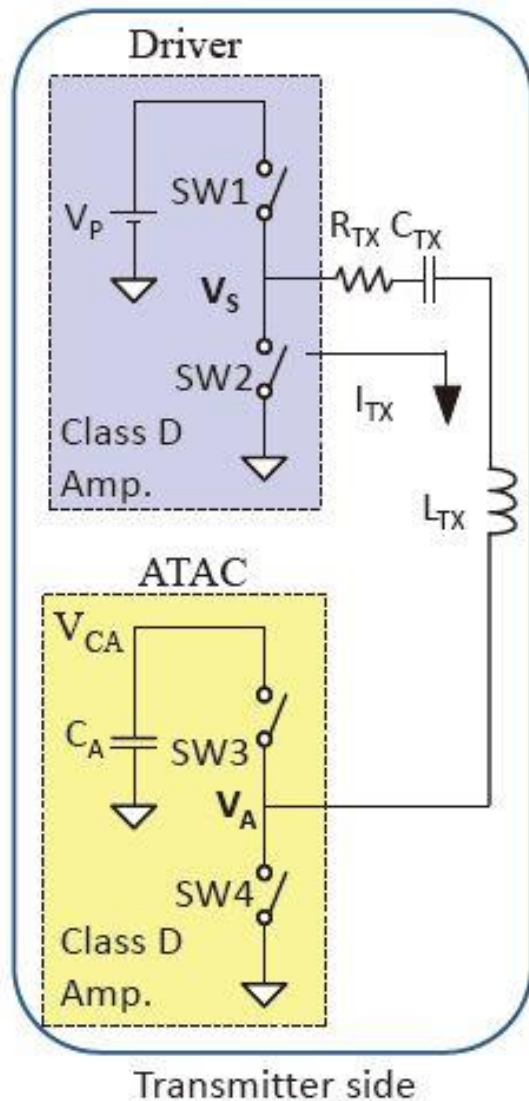
給電効率 $\eta = \frac{1}{\left\{ \kappa^2 Q_{TX} Q_{RX} \left(\frac{R_L}{R_{RX}} + 1 \right) + 1 \right\} \left(1 + \frac{R_{RX}}{R_L} \right)}$

ATAC回路とは

ATAC回路(Automatic Tuning Asist Circuit)

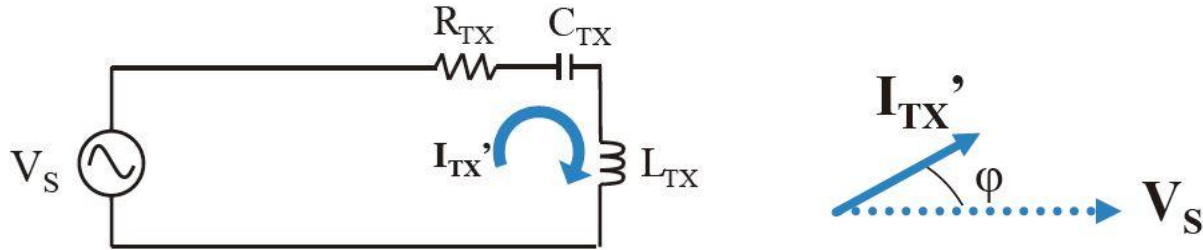
電流と電流の位相のずれを自動で補正する

主電源とATAC部はスイッチング位相を90° ずらす

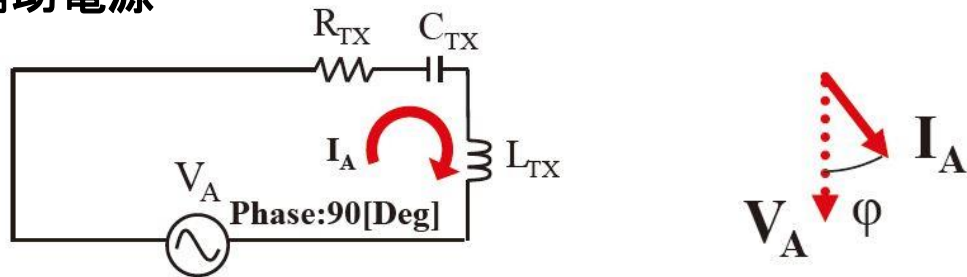


ATAC原理の考え方

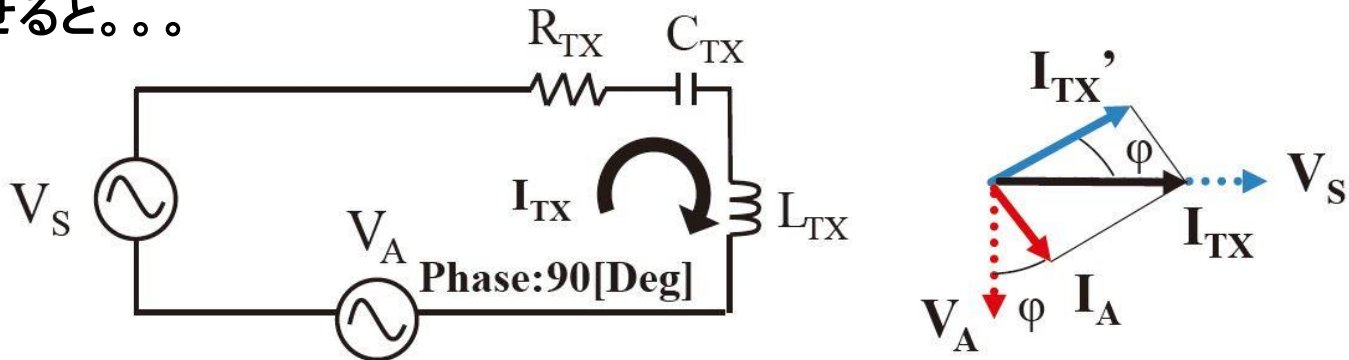
主電源



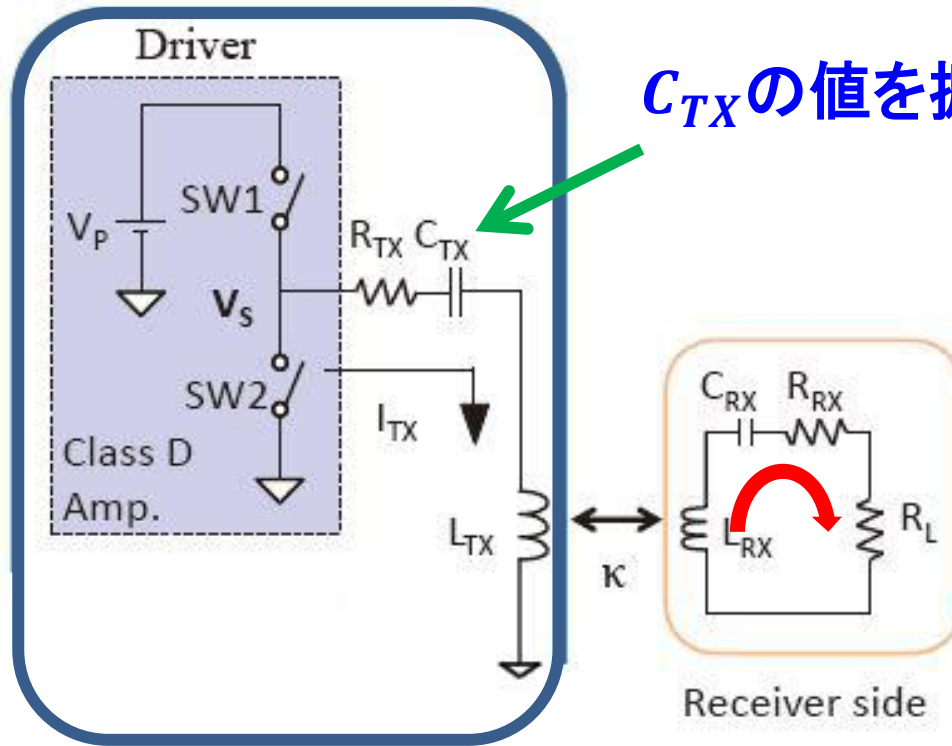
位相90° ずれた補助電源



足し合わせると。。。

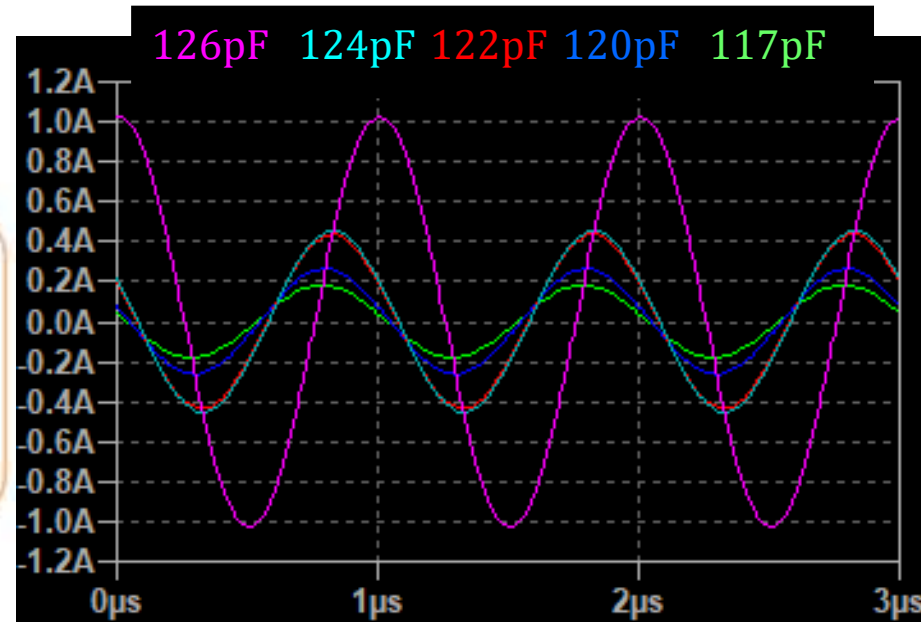


ATACが無い 従来回路



C_{TX} の値を振る

出力電流

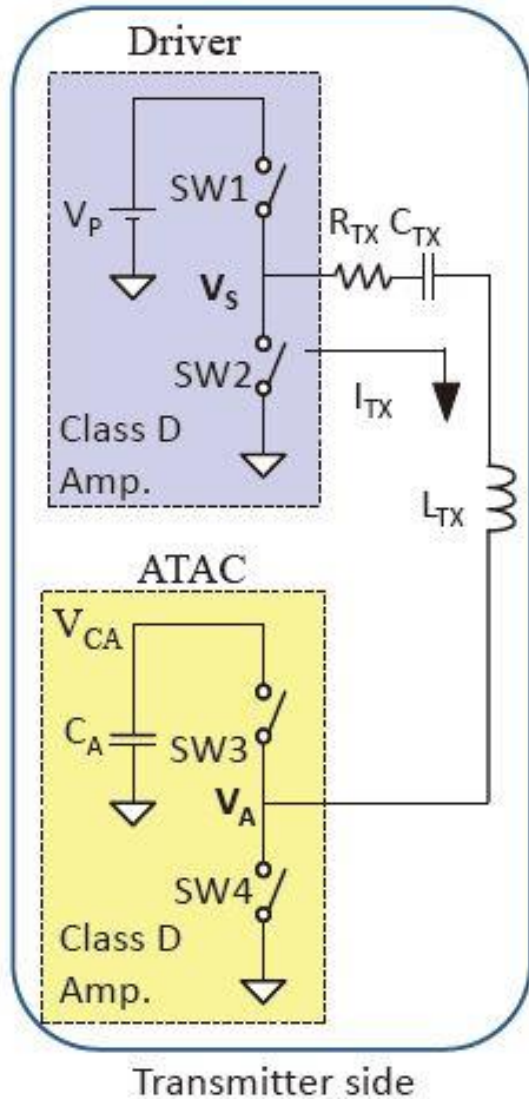


共振周波数の差異
出力電流の差

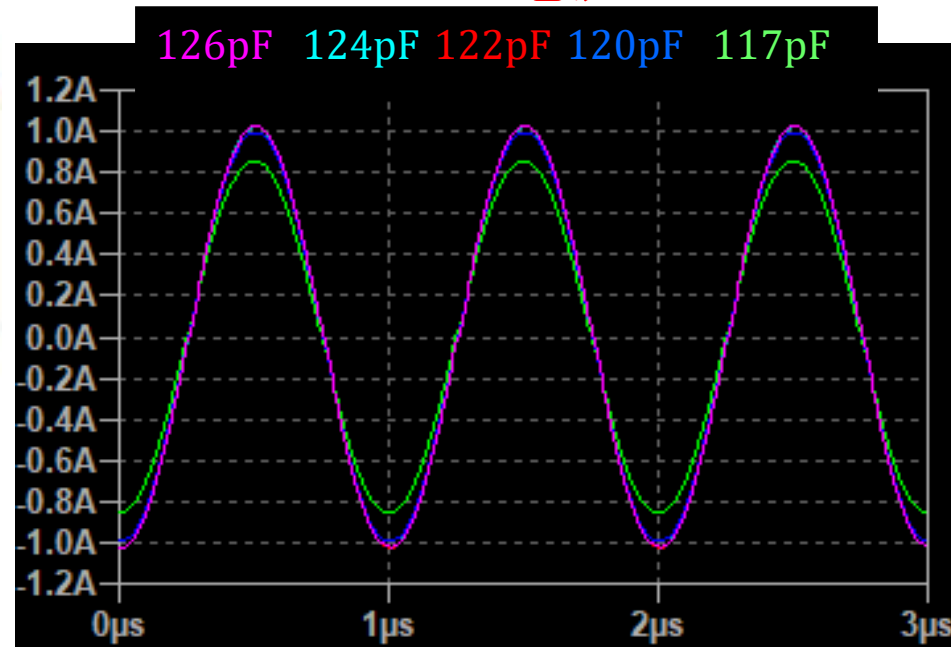
0.80%~3.78%

60%~80%

ATACを搭載した回路



出力電流

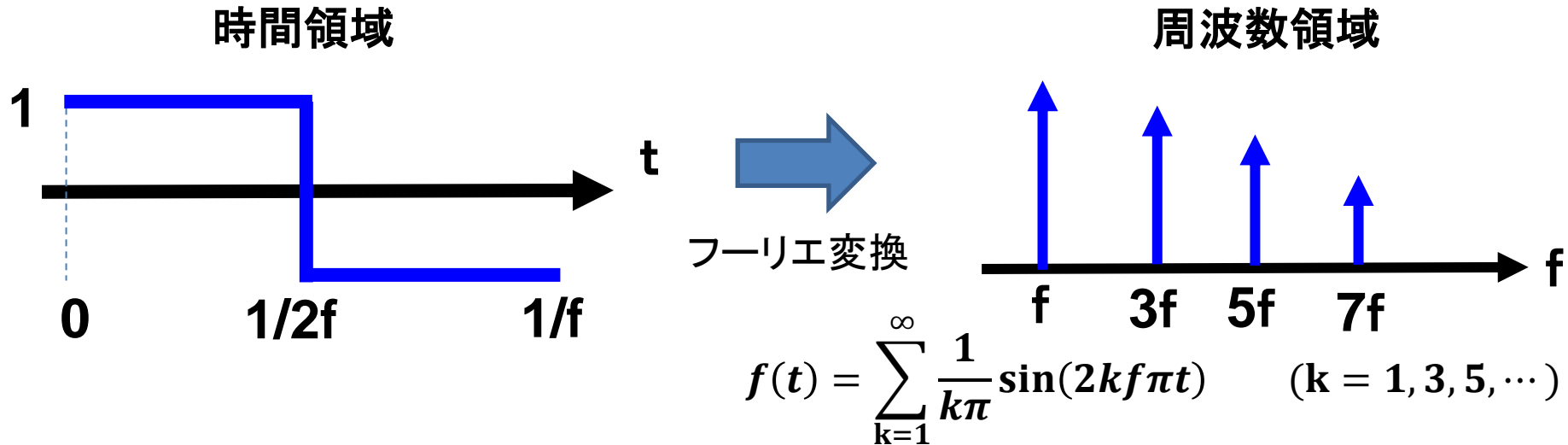


共振周波数の差異 0.80%~3.78%
出力電流の差 0%~20%

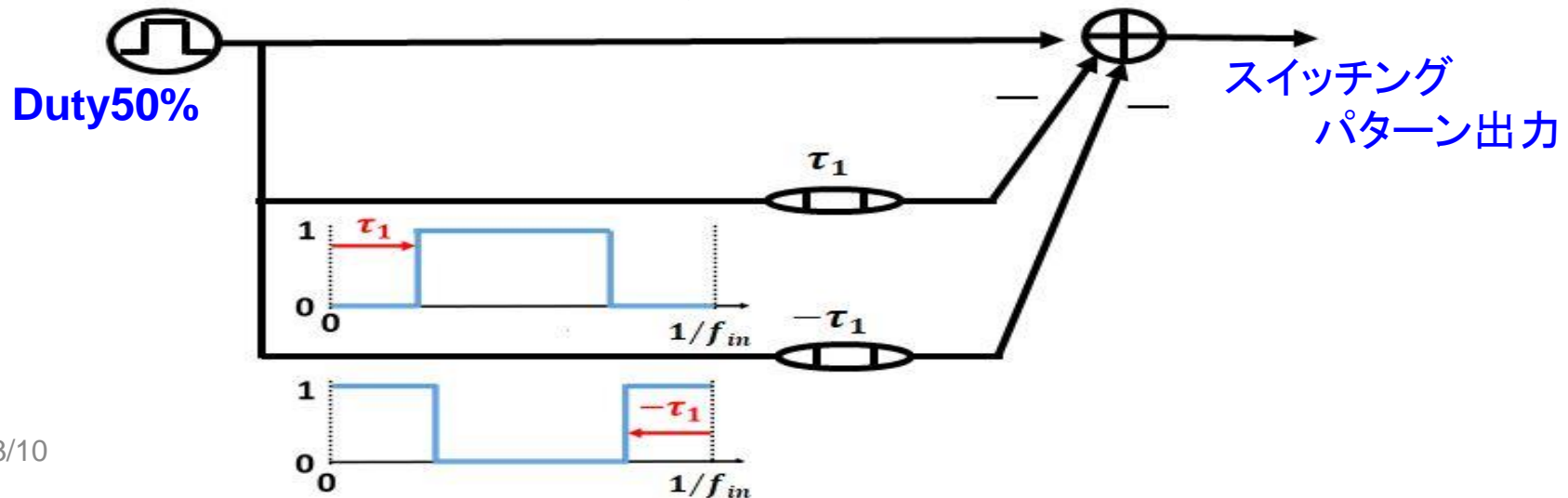
内容

- 研究背景
- ATAC回路の紹介
- **高調波抑制スイッチングパターン**
- 提案手法のシミュレーション
- まとめ

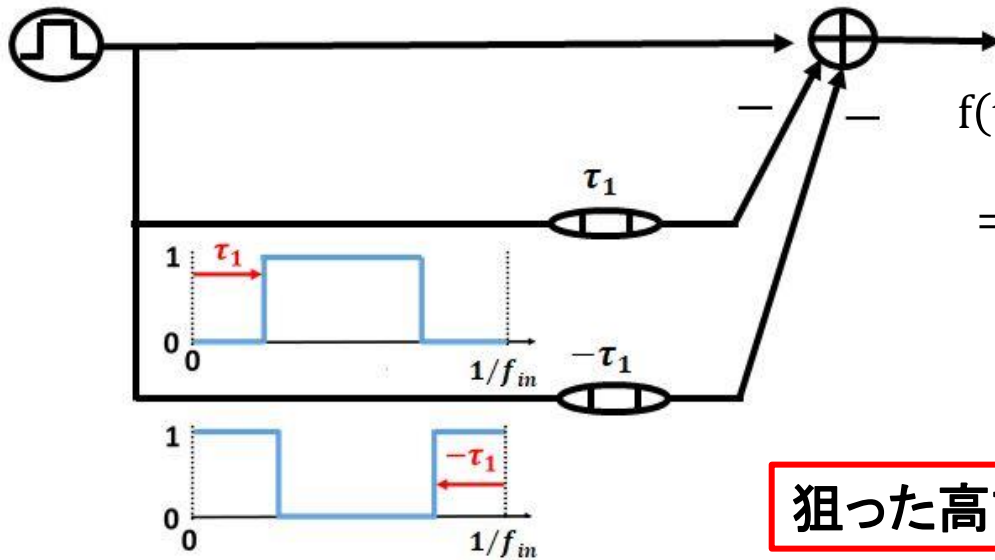
高調波抑制スイッチングパターン



高調波抑制アルゴリズム



高調波抑制スイッチングパターン



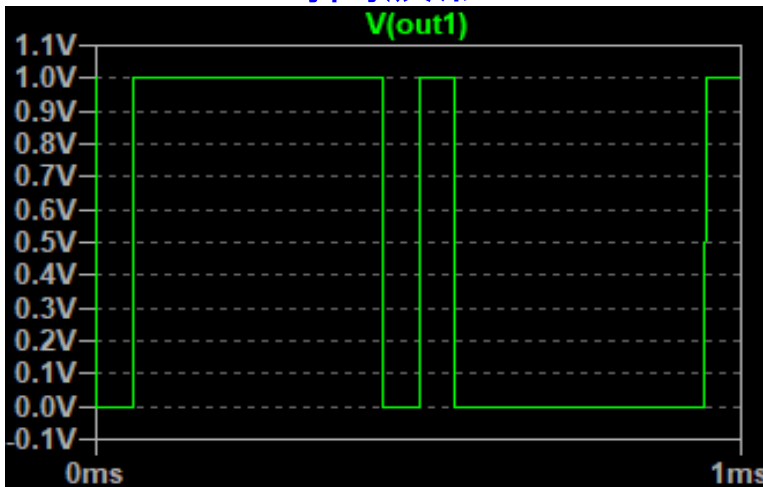
$$f(t) - f(t - \tau) - f(t + \tau)$$

$$= \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k\pi} \{1 - 2\cos(2kf_{in}\pi\tau)\} \sin(2kf_{in}\pi t)$$

3次を消したければ $f_{in}\tau = \frac{1}{18}$

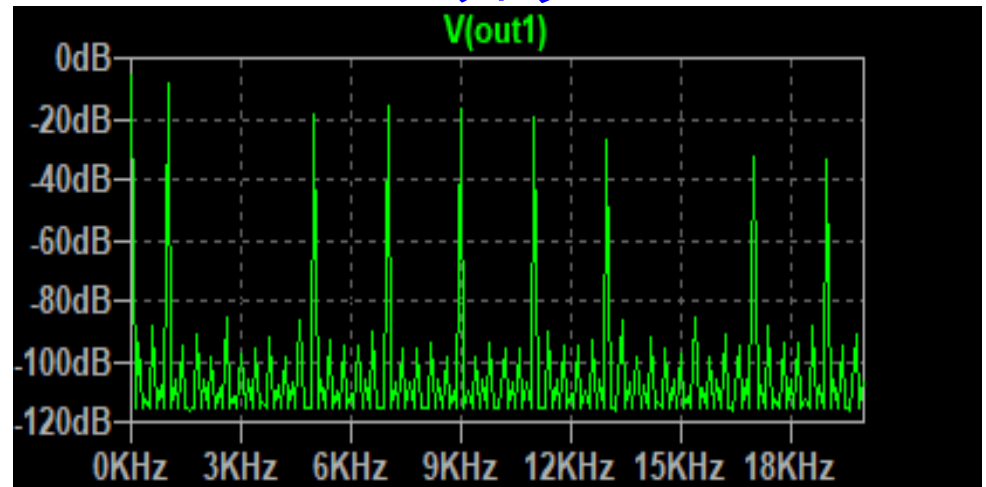
狙った高調波を抑制するスイッチングパターン

時間波形



2018/3/10

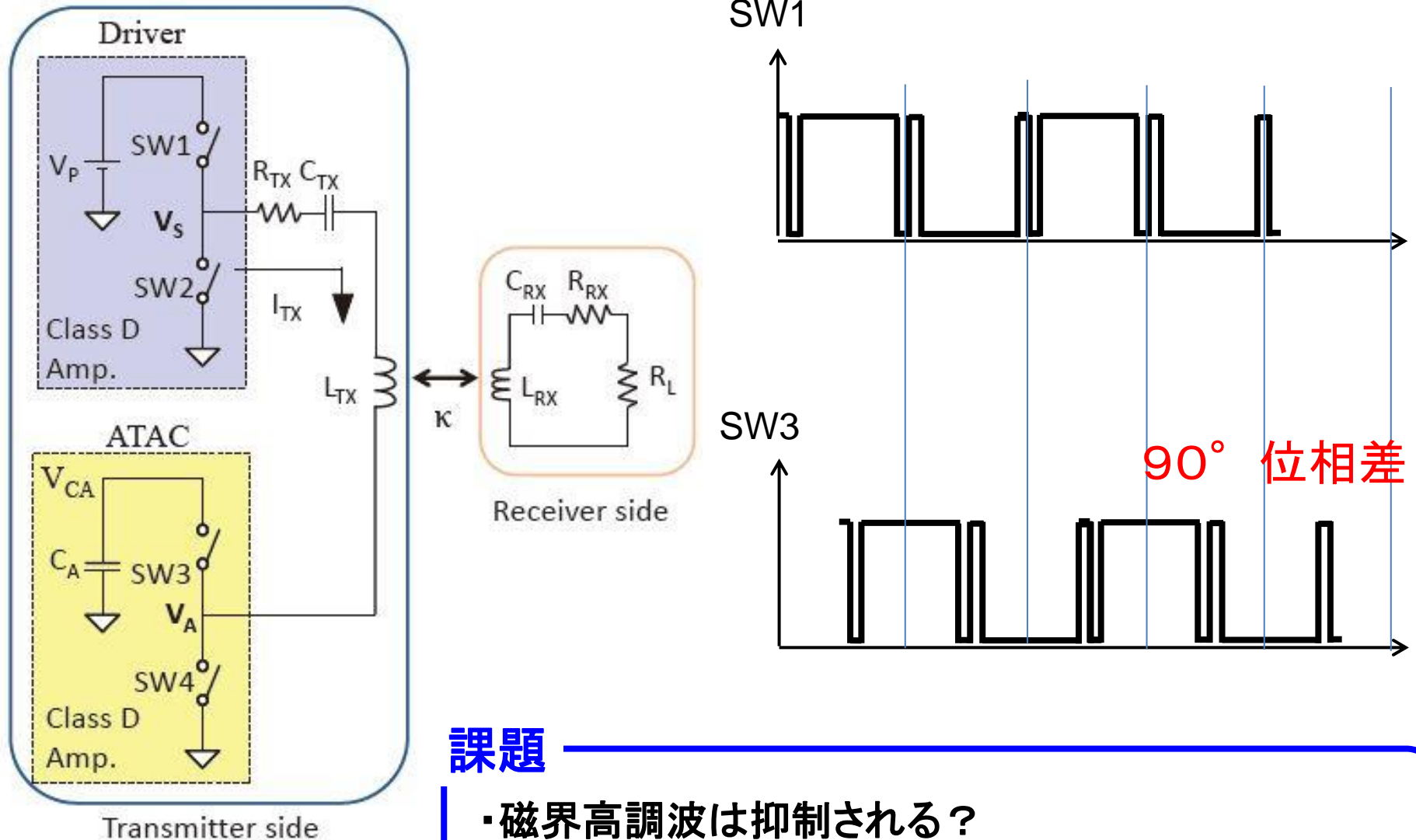
スペクトラム



内容

- 研究背景
- ATAC回路の紹介
- 高調波抑制スイッチングパターン
- **提案手法のシミュレーション**
- まとめ

3次抑制パターンを適用

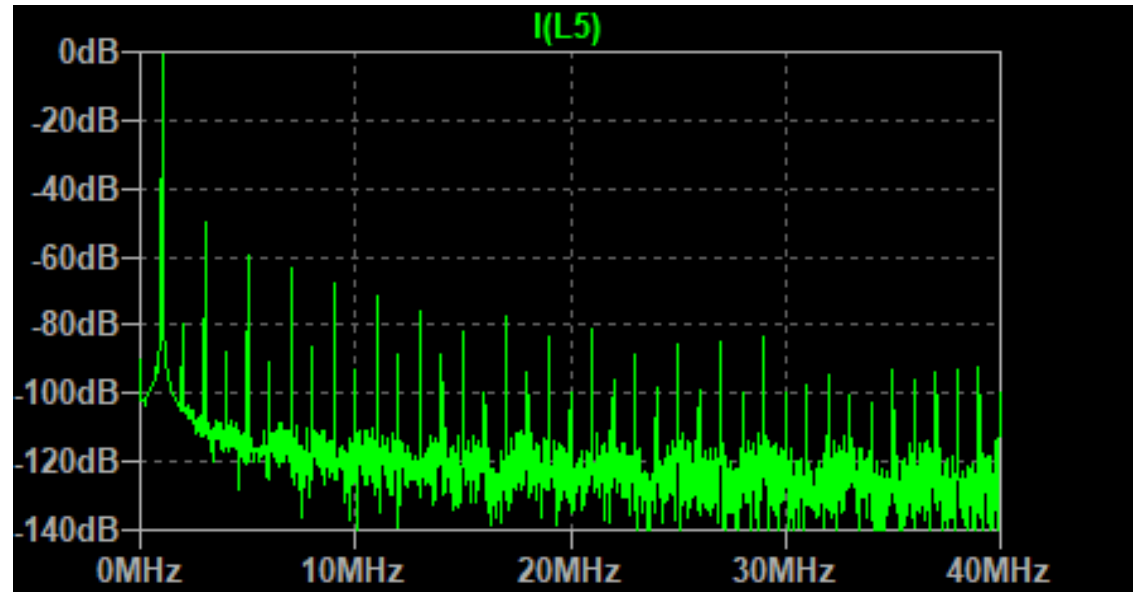


課題

- ・磁界高調波は抑制される？
- ・Duty50%スイッチングでなくてもATACは動作する？

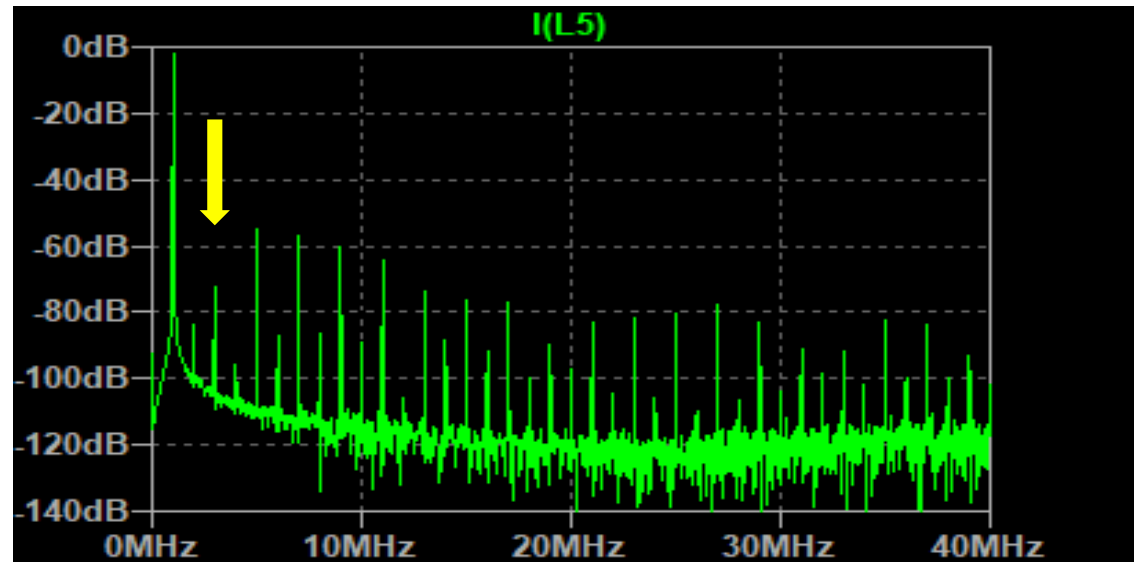
インダクタ電流の周波数スペクトル

Duty 50%スイッチング

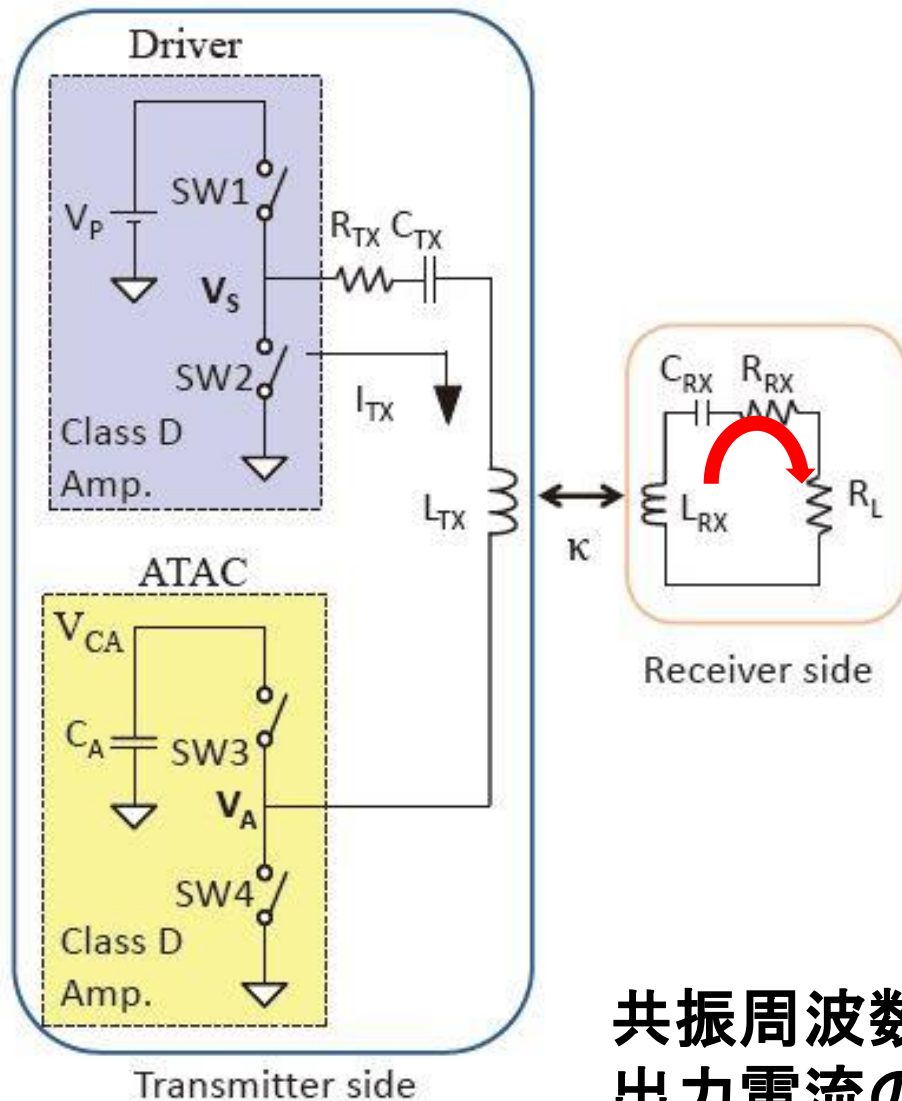


3次抑制スイッチング

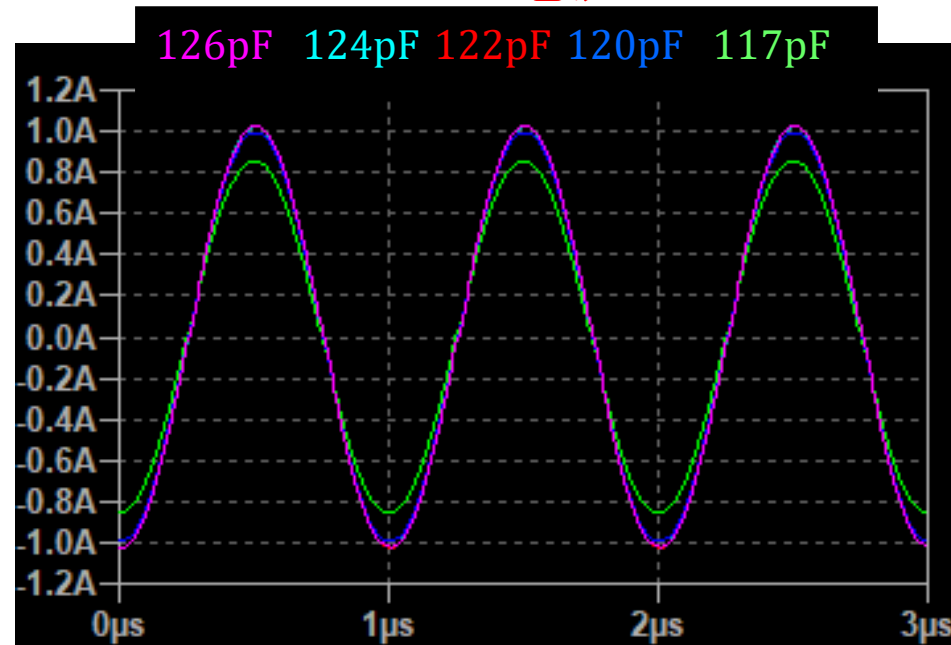
-20dBの抑制が見られる



3次抑制スイッチングパターンによるATAC回路の動作



出力電流



共振周波数の差異 0.80%~3.78%
出力電流の差 0%~20%

内容

- 研究背景
- ATAC回路の紹介
- 高調波抑制スイッチングパターン
- 提案手法のシミュレーション
- **まとめ**

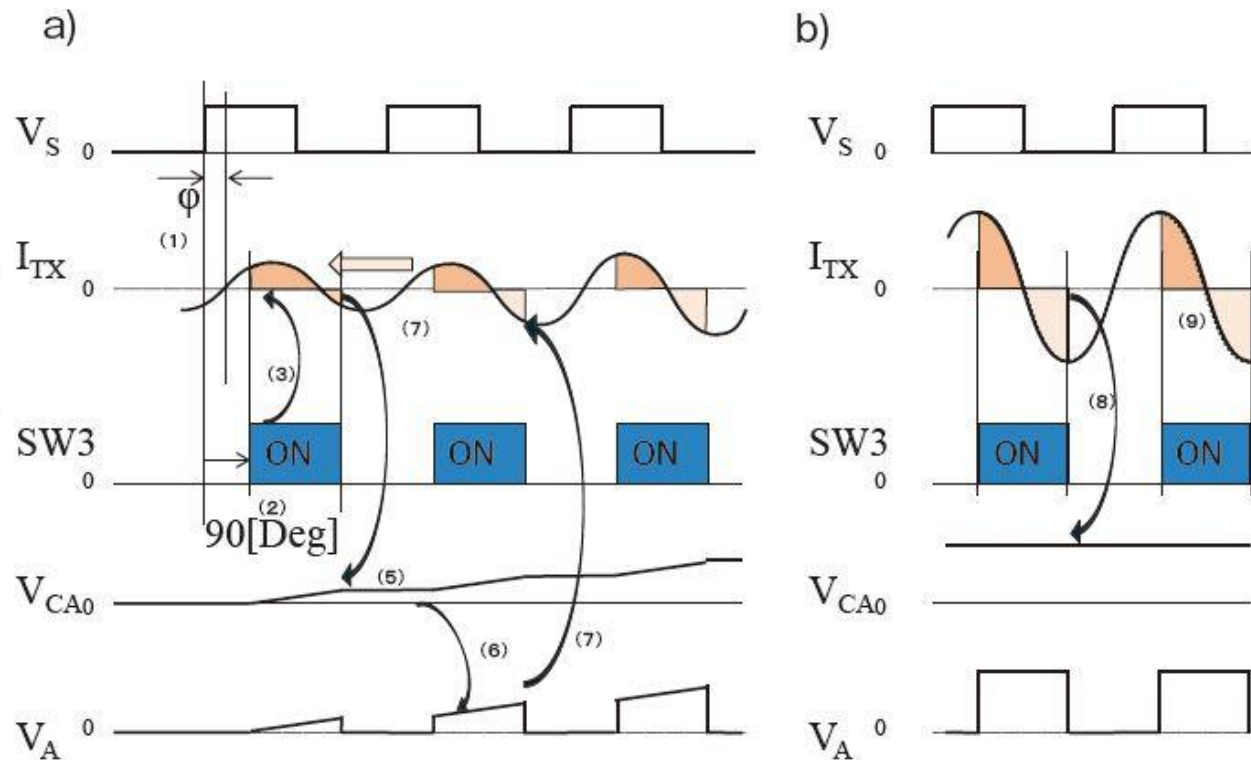
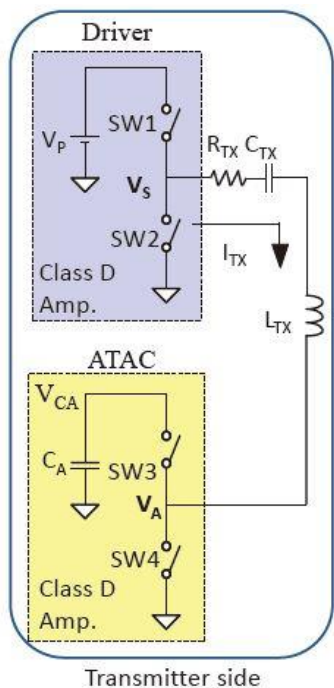
まとめ

- 共振周波数を自動調整し、狙った高調波だけを取り除く磁界結合型ワイヤレス給電システムが構成できる
- ATAC回路はDuty50%スイッチングでなくとも動作する
- インダクタ電流の3次高調波抑制をシミュレーションで確認

Appendix

補助電圧を作る過程

- SW3は送信電源 V_S から90度の位相ずれで半周期ごとに動作させる。(a(2))
- 共振電流 I_{TX} をSW3により半周期分切り取る。(a(3))
- 切り取られた I_{TX} はコンデンサ C_A を充放電する。(a(4))
- 充放電された結果 I_{TX} の位相差分、 C_A に電荷がたまることで、電圧 V_{CA} が得られる。(a(5))
- V_{CA} とSW3,4により V_S の位相から90度ずれた補助電源 V_A が生成される。(a(6))
- V_A は I_{TX} の位相を進める。(b(7))
- I_{TX} と V_S の位相が一致すると、 C_A の充放電がバランスし、 V_{CA} の電位は安定する。(b(8))
- V_{CA} の電位が安定化したことにより、 I_{TX} の位相が共振状態で固定される。(b(9))



Q&A

Q. 電圧と電流の位相差を検出して自動補正するとのことだが、位相差は遅れの場合のみ？進みの場合も補正できる？

A. 理論的には可能だがそこまで調べていない

Q. 高調波抑制スイッチングパターンは3次だけ消すということだが、今後全て消せるということになり得る？

A. 本手法だと、全ては不可能だが狙った高調波は消せる。2種類の高調波を同時に消去する方法もある。