

ETG-18-51

# リング発振回路の 周波数・位相引き込み現象の研究

群馬大学

栗原 圭汰

柴崎 有祈子

小林 春夫



# 目的

## 【目的】

- 回路上で同期現象の調査・検証・解析

## 【アプローチ】

- シミュレーションにより、  
リング発振回路の周期信号の  
位相・周波数引き込み現象の確認

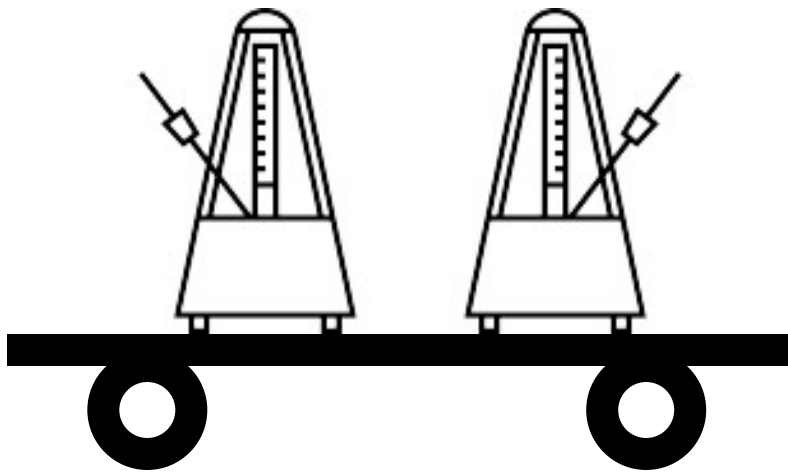
## 【結果】

- 単純な回路内に複雑系の可能性

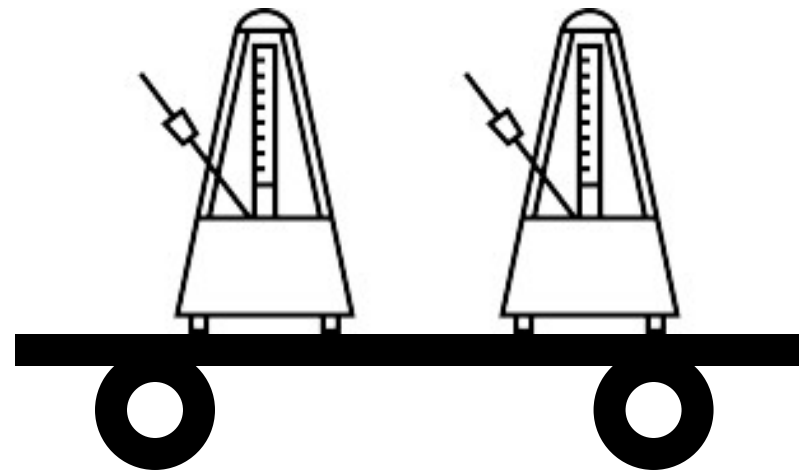
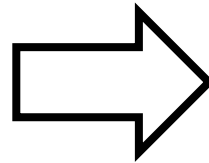
- 研究背景と目的
- リング発振回路
- 位相引き込み現象
- 周波数引き込み現象
- まとめ

- 研究背景と目的
- リング発振回路
- 位相引き込み現象
- 周波数引き込み現象
- まとめ

# 研究背景



バラバラに振動 . . .



同期！

# リズム現象

リズム現象とは、

■ほぼ一定の周期で同じ出来事が繰り返す現象。

Ex)

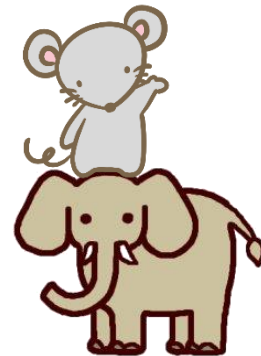
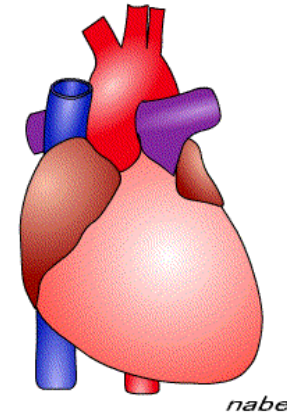
■生体→心臓、呼吸

■宇宙→天体の運動

■コンピュータ→クロックシグナル

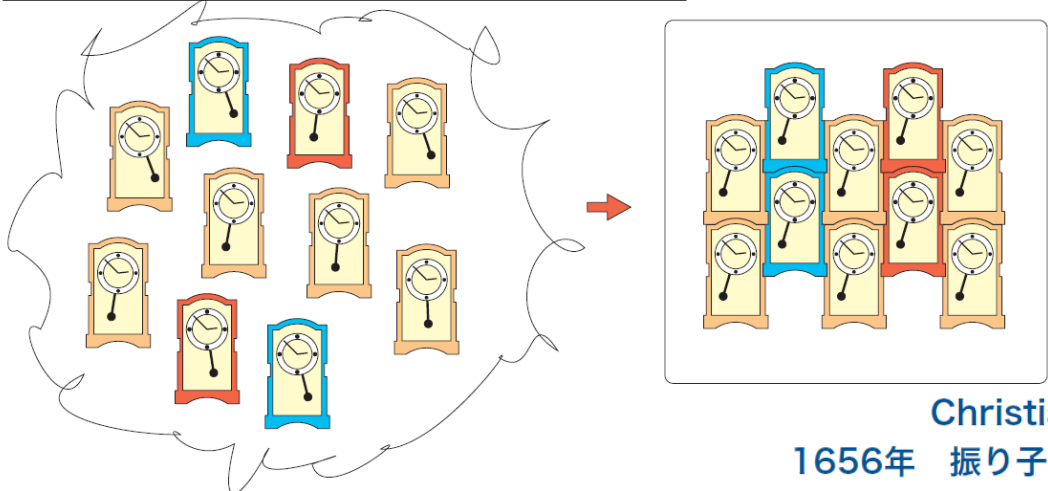
■回路→リングオシレーター、共振回路

→天体や生体、モノ の時間の基準



# リズムの相互干渉-1

## 位相引き込み現象の例



Christiaan Huygens (オランダ 1629-1695)  
 1656年 振り子時計を発明：複数の振り子時計が同期することを発見

## 周波数引き込み現象の例



人間の体内時計周期  
 25時間！？

地球の自転の周期  
 24時間

暗室生活での研究成果

# リズムの相互干渉-2



ホタルの発光



ろうそくの火の振動

相手を真似るだけで好感度90%アップ！  
恋愛心理テク「ミラーリング」



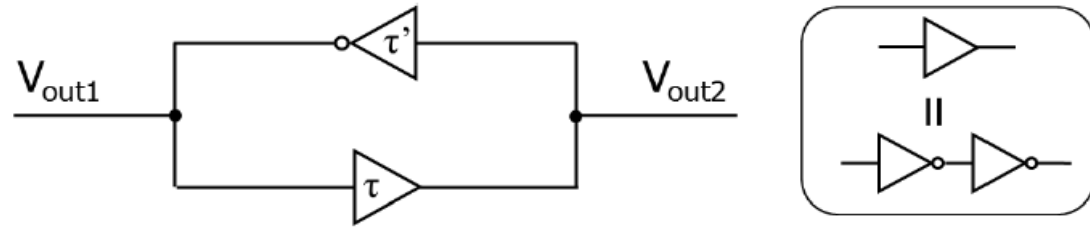
【心理学】  
ミラーリング効果

行動を真似る  
→ 気持ちを引き込む！



- 研究背景と目的
- リング発振回路
- 位相引き込み現象
- 周波数引き込み現象
- まとめ

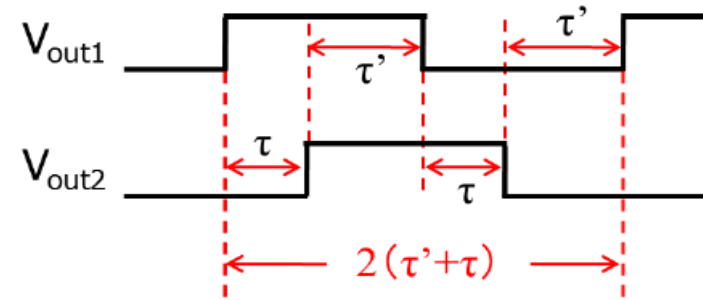
# リング発振回路



インバーターが奇数のため、  
全体として入出力で信号が反転する。

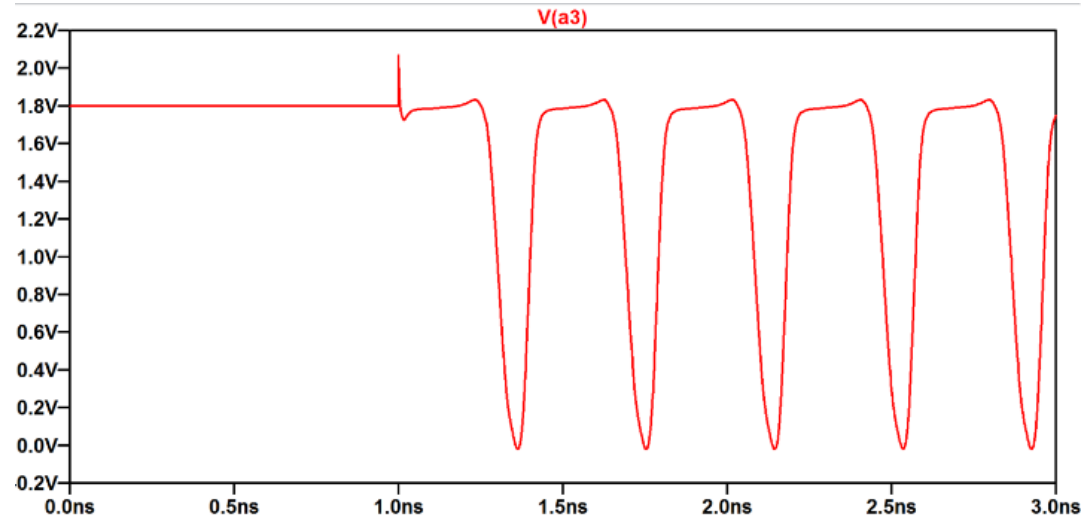
↓繰り返し

発振！



発振周期  
≡ インバーターの遅延の総和の2倍

$$T = 2(\tau + \tau')$$

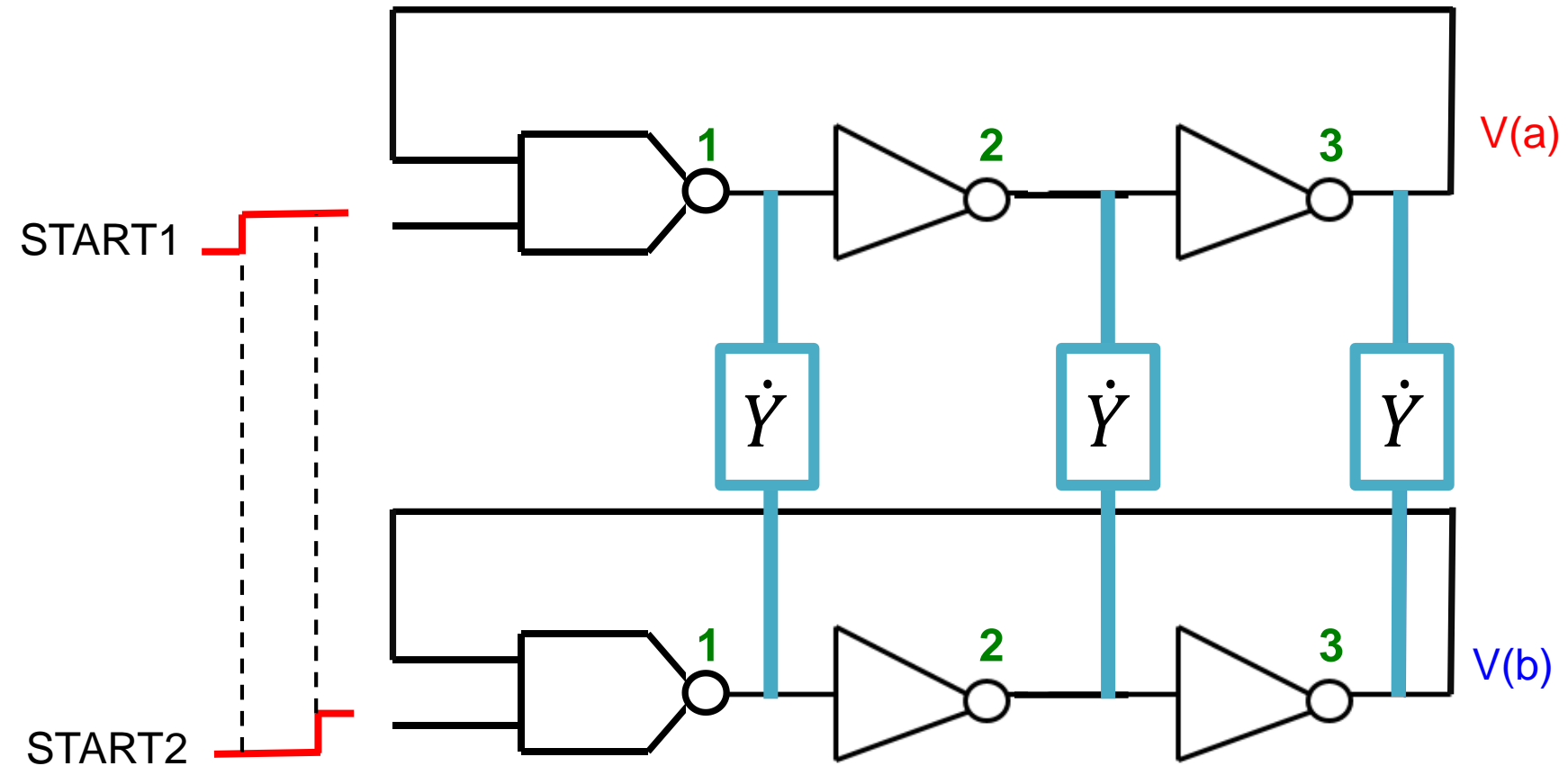


3段のリング発振回路の出力電圧

# Outline

- 研究背景と目的
- リング発振回路
- 位相引き込み現象
- 周波数引き込み現象
- まとめ

# 位相引き込み現象の検証回路

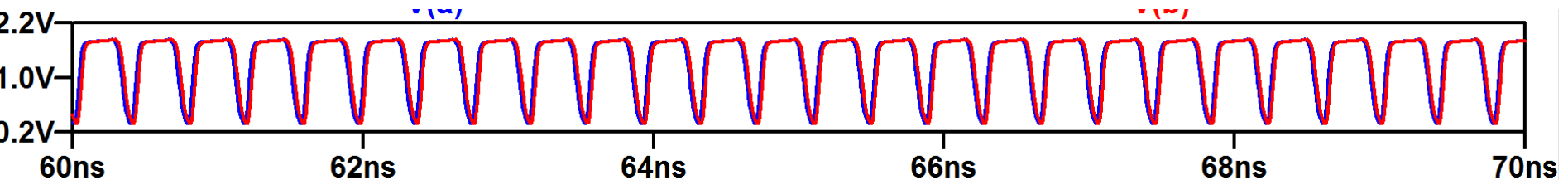
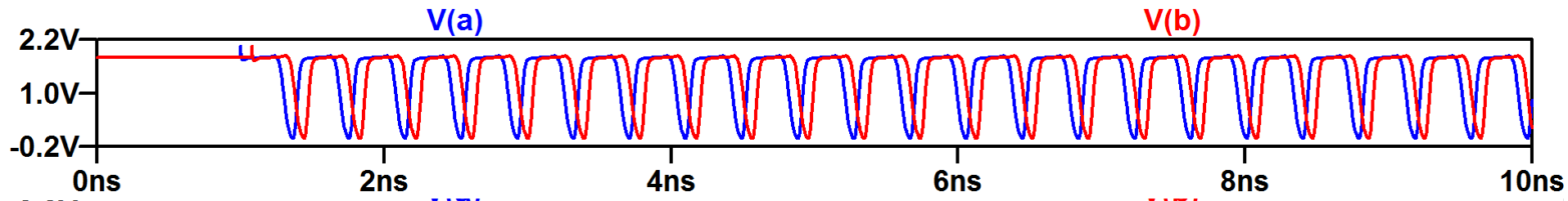


初期位相差：  
あり（変数）

周波数オフセット：  
なし

カップリング素子：  
変数

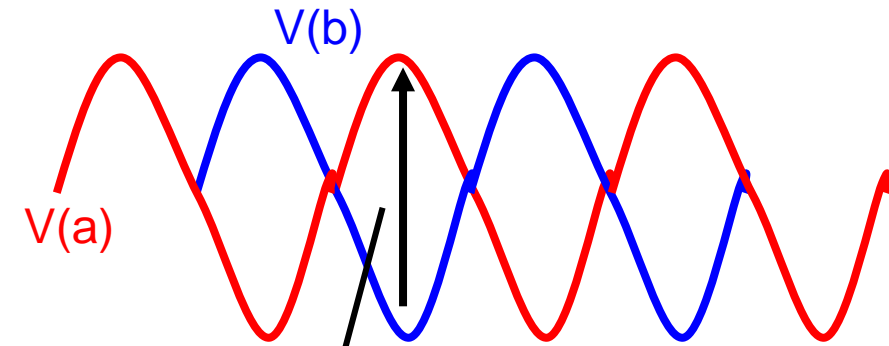
# 位相引き込み現象の検証結果



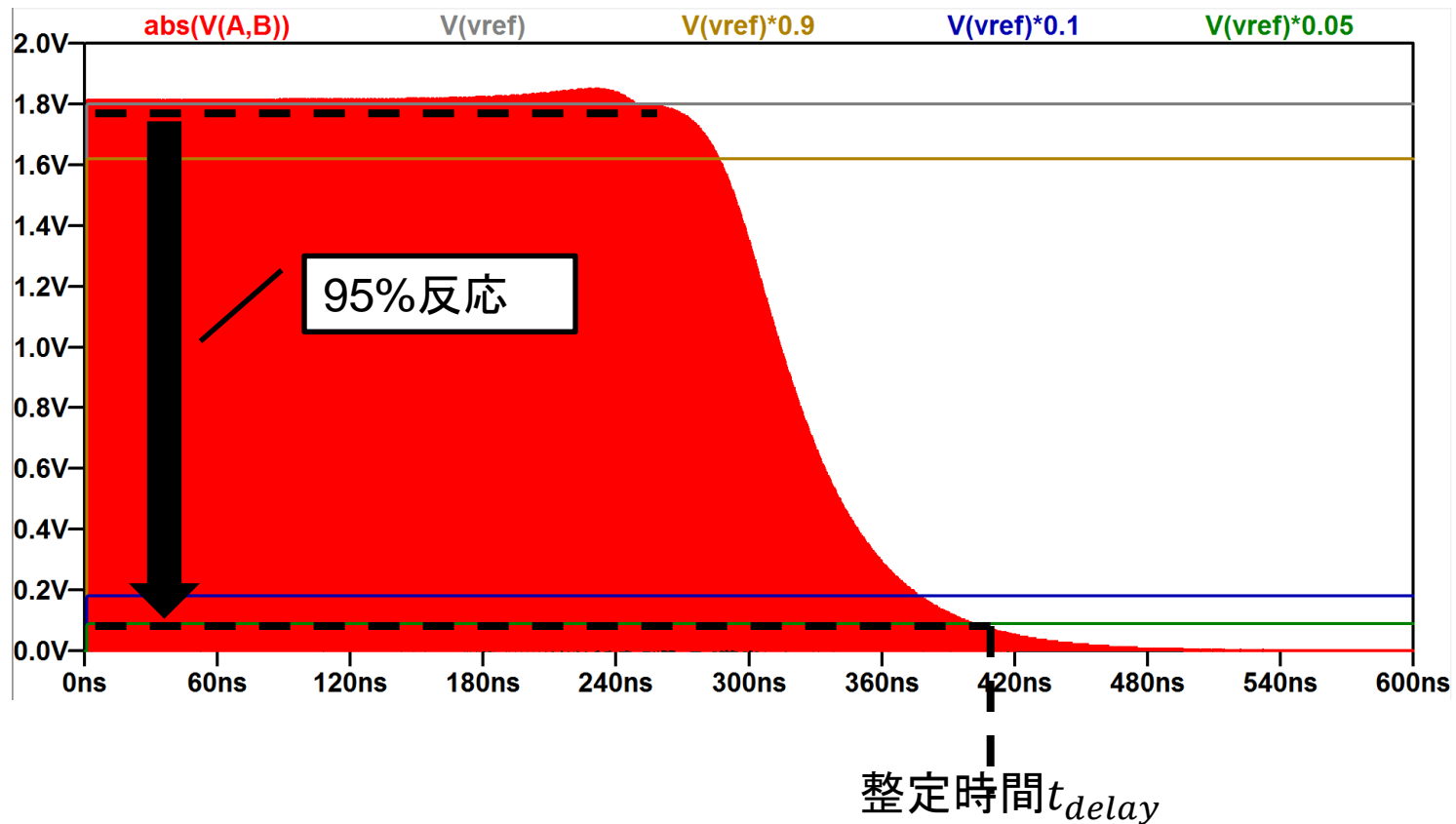
位相引き込み現象の経過

# 位相同期時間の定義(整定時間)

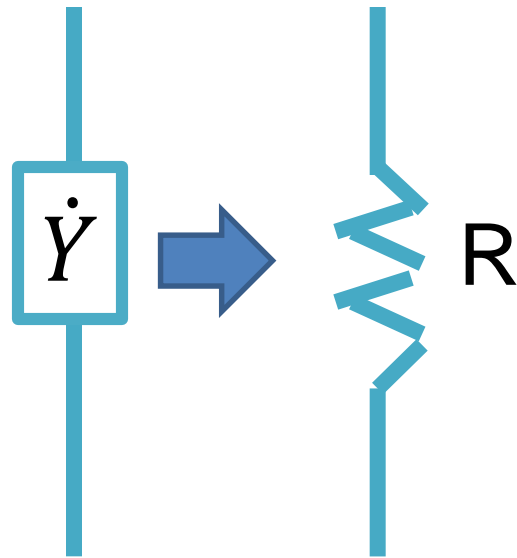
3段  
+0.5T  
1E+6+j0 Ω



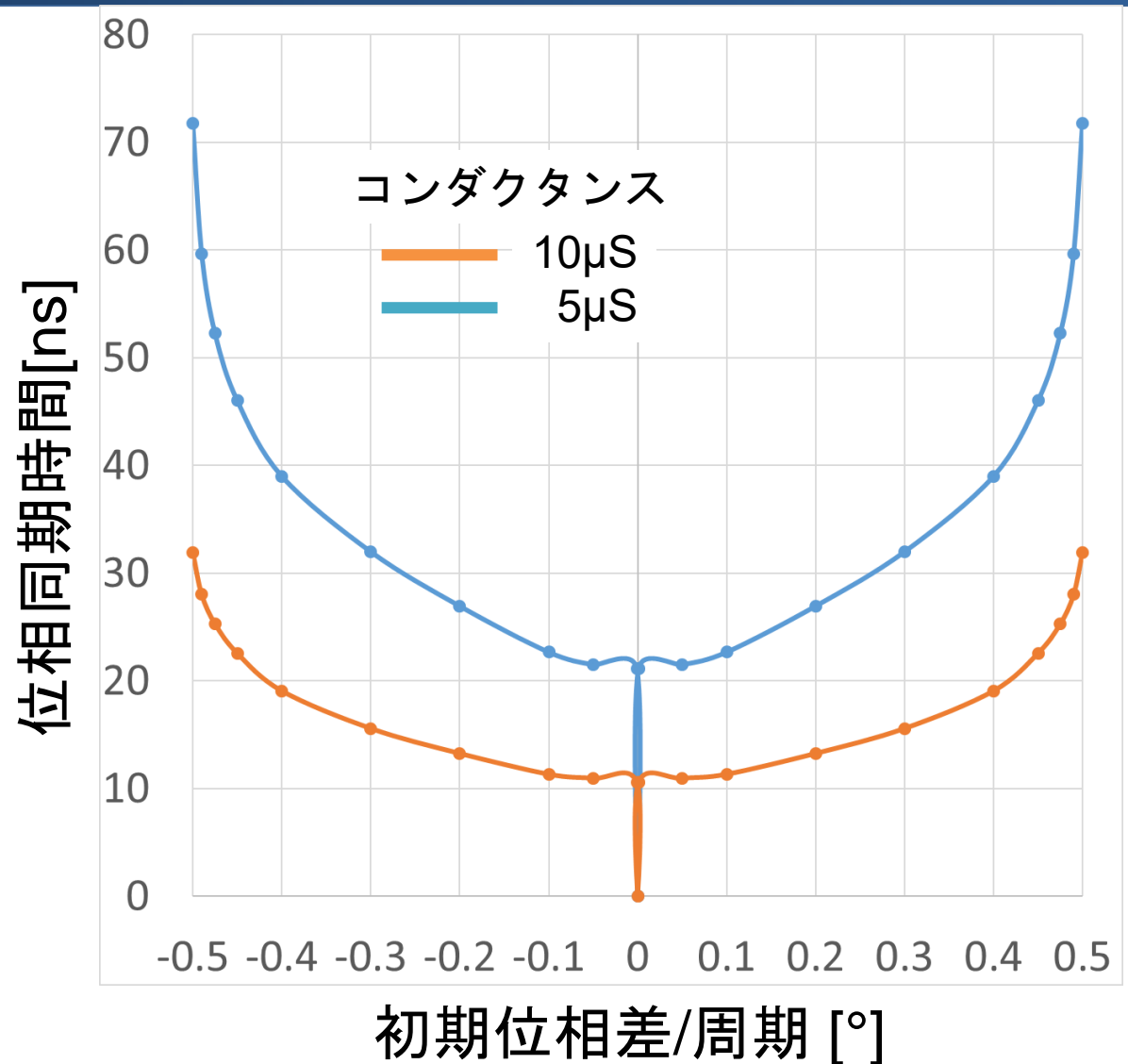
$V(a) - V(b)$



# 位相引き込み現象の解析

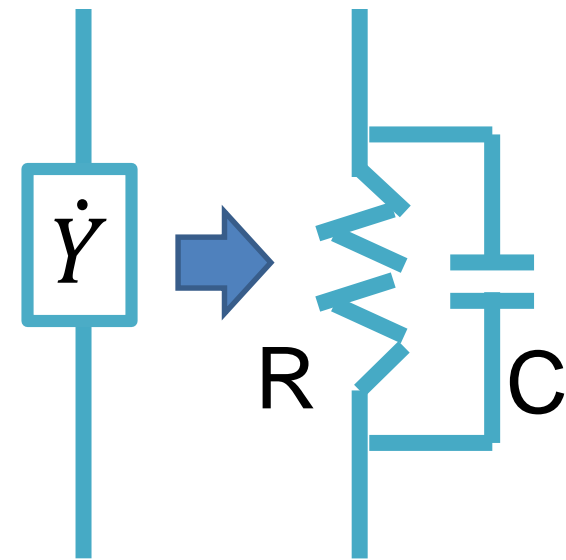


$$Y=1/R$$

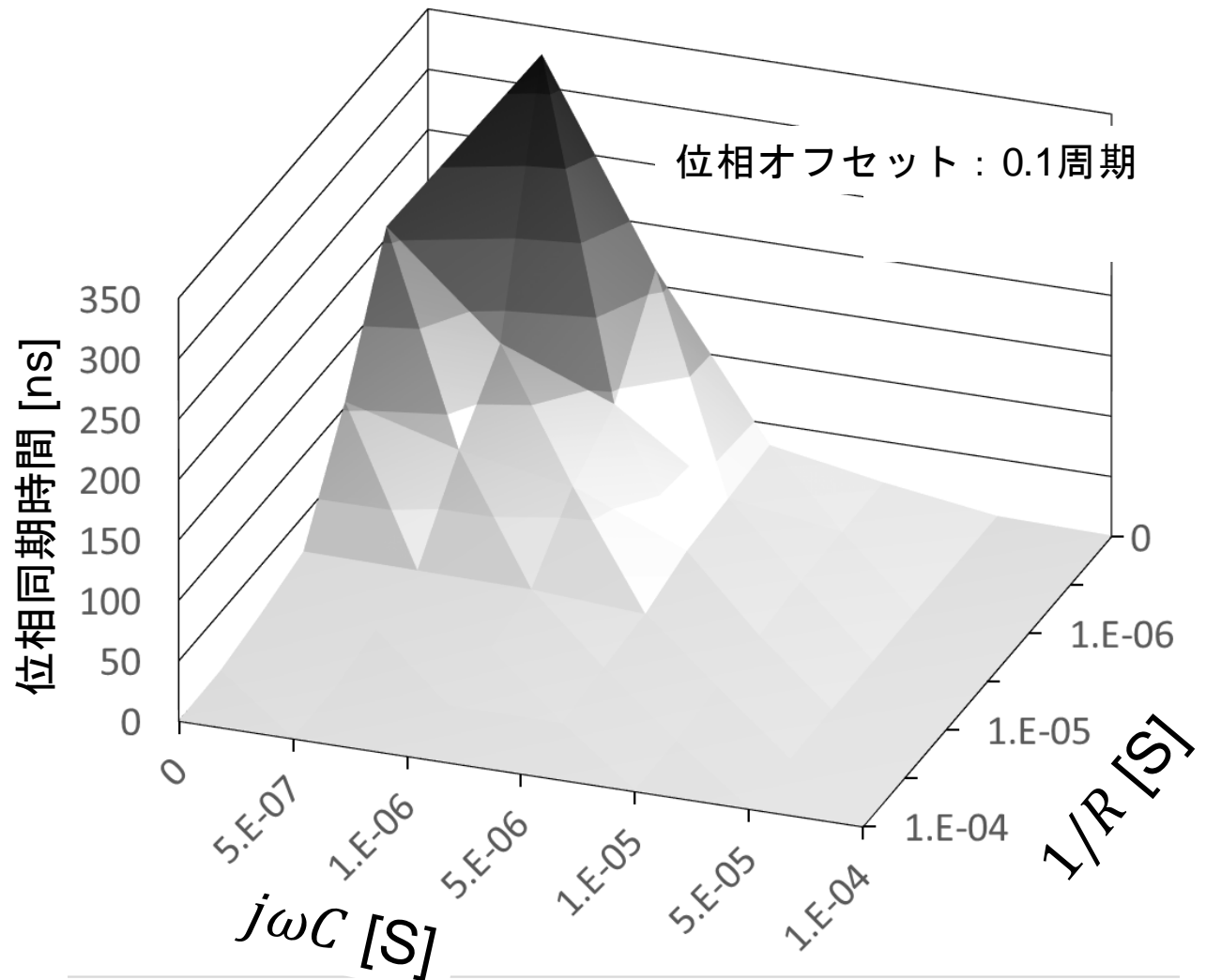


位相同期時間と初期位相差の関係

# 位相引き込み現象の解析



$$\dot{Y} = 1/R + j\omega C$$



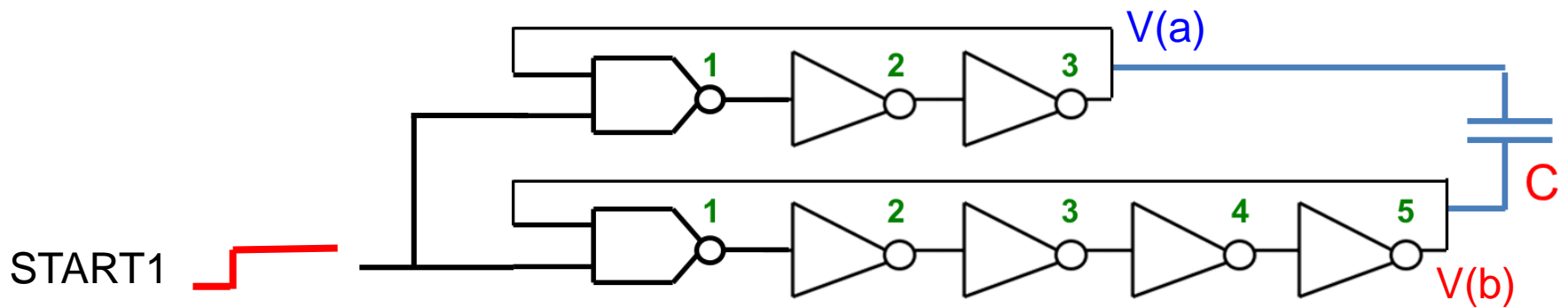
位相同期時間とカップリングサセプタンスの関係



# Outline

- 研究背景と目的
- リング発振回路
- 位相引き込み現象
- 周波数引き込み現象
- まとめ

# 周波数引き込み現象の検証回路【2相】

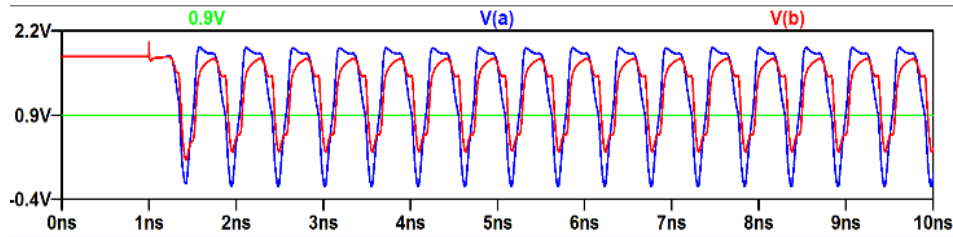


初期位相差：  
なし

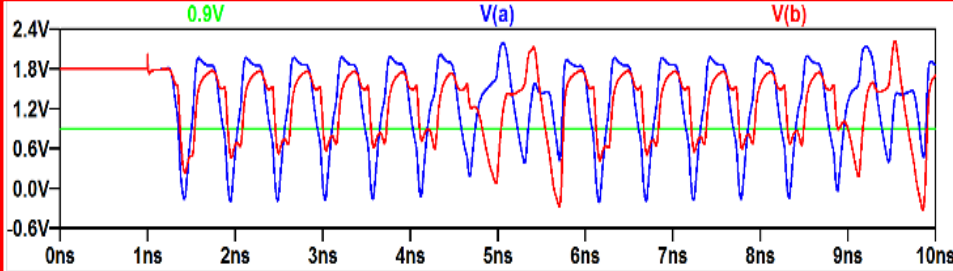
周波数オフセット：  
あり

カップリング素子：  
変数

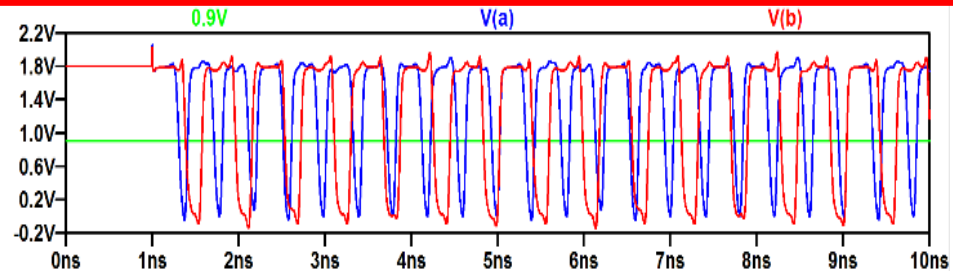
# 周波数引き込み現象の検証結果【2相】



(a) 同期振動 ( $C=200\text{fF}$ )



(b) **臨界状態** ( $C=172\text{fF}$ )



(c) 独立振動 ( $C=10\text{fF}$ )

ほぼ同じ周波数で振動



1周期毎にズレが蓄積

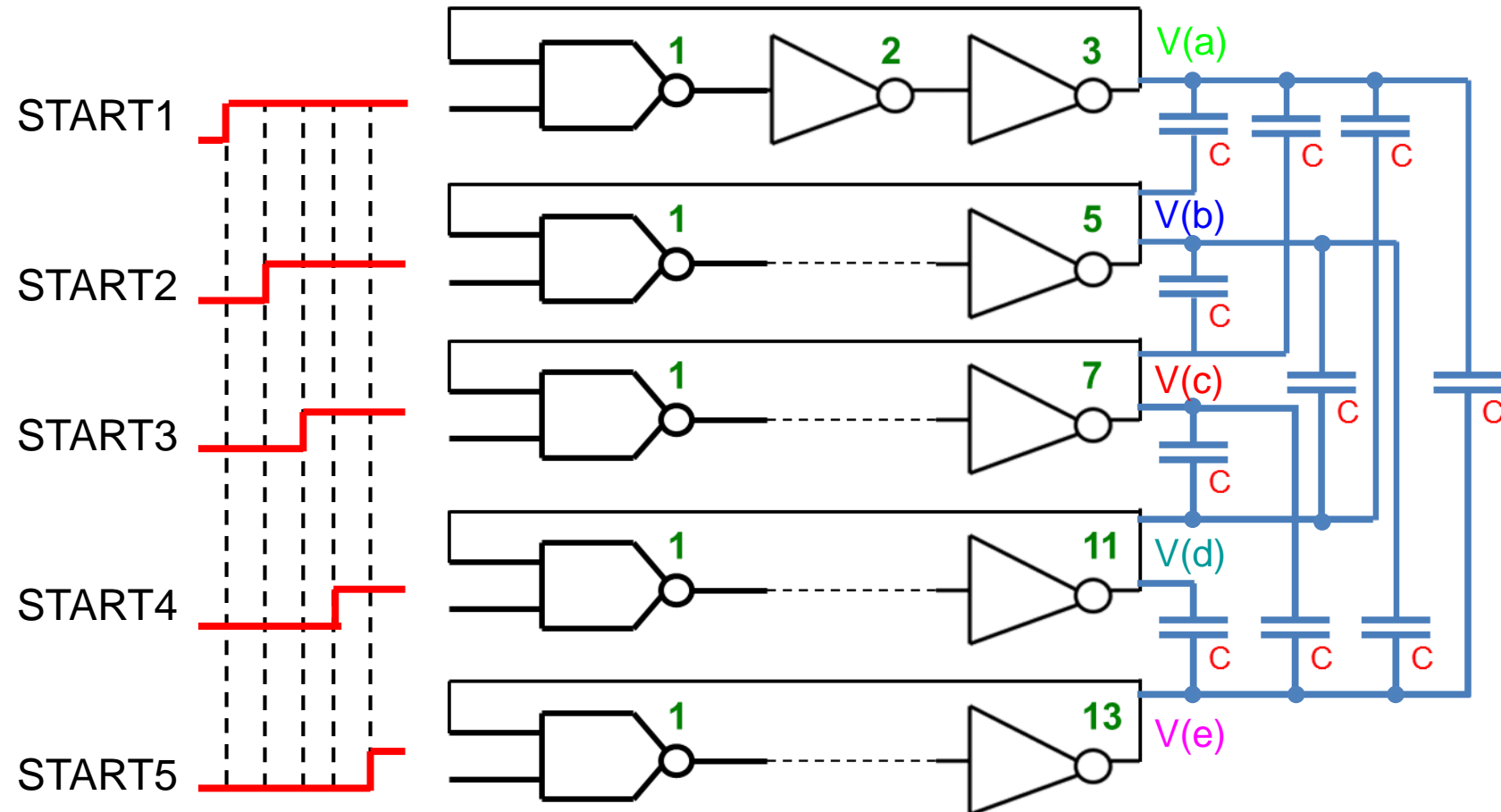


閾値を超えると...

**調整作用**が生じる  
(周期的に)

結合素子と出力電圧(相互干渉のモード)

# 周波数引き込み現象の検証回路【5相】



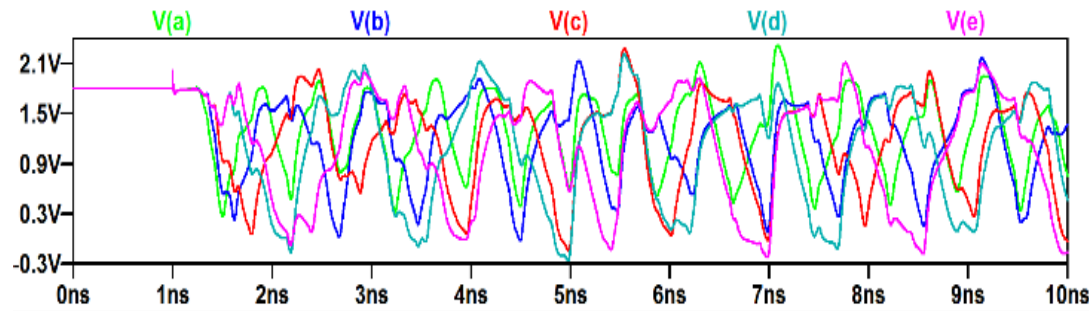
初期位相差：  
あり（変数）

周波数オフセット：  
あり（固定）

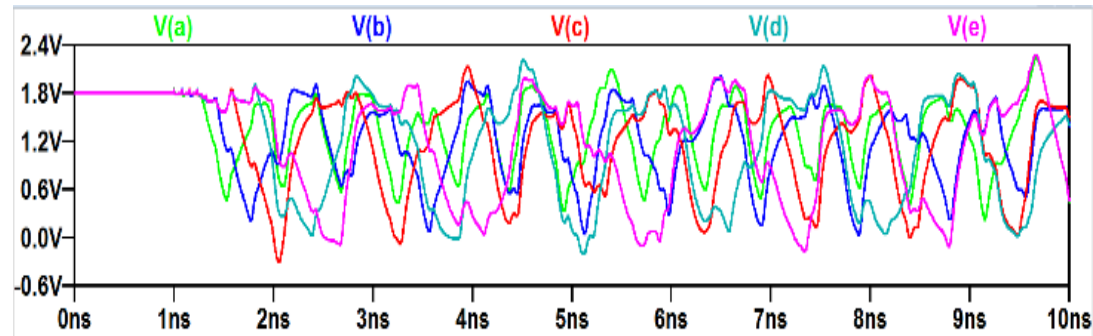
カップリング素子：  
臨界状態

# 周波数引き込み現象の検証結果【5相】

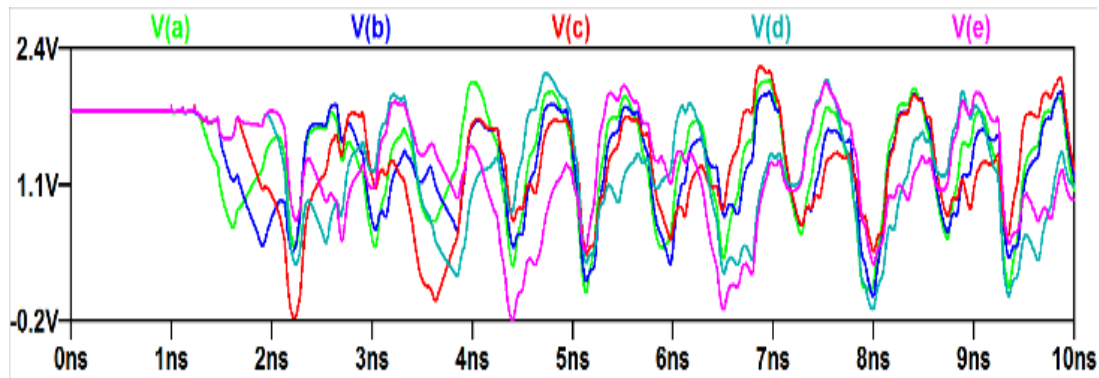
(a)位相差0



(b)位相差78ps刻み



(c)位相差116ps刻み

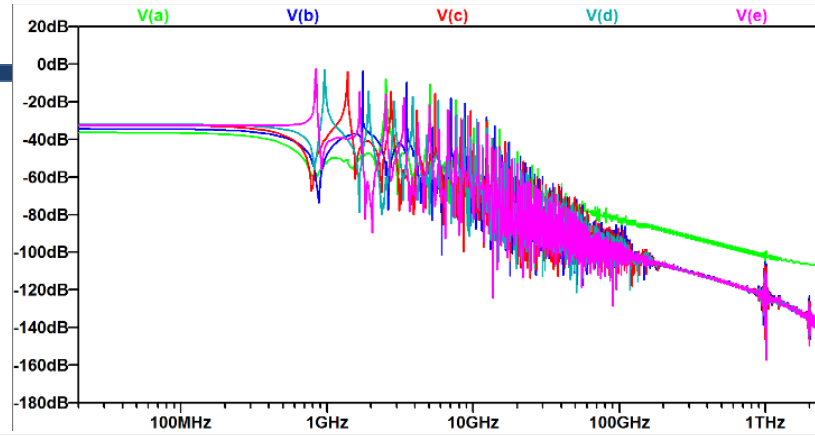


結合素子と出力電圧

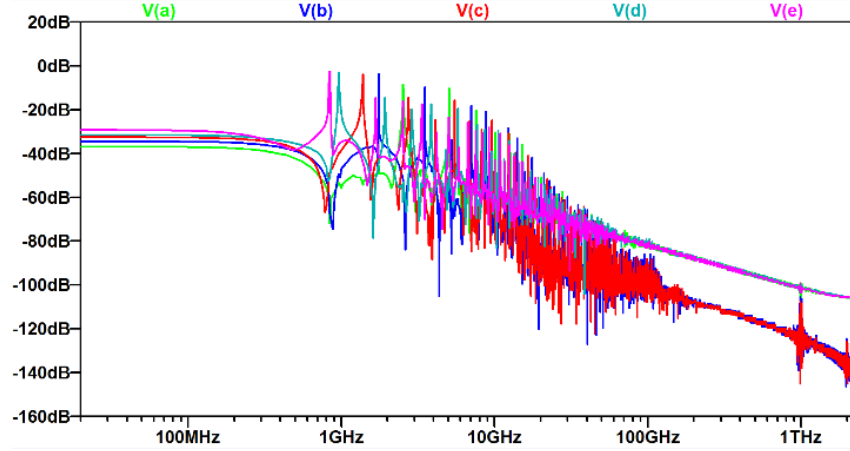


# 位相オフセットと出力電圧スペクトル

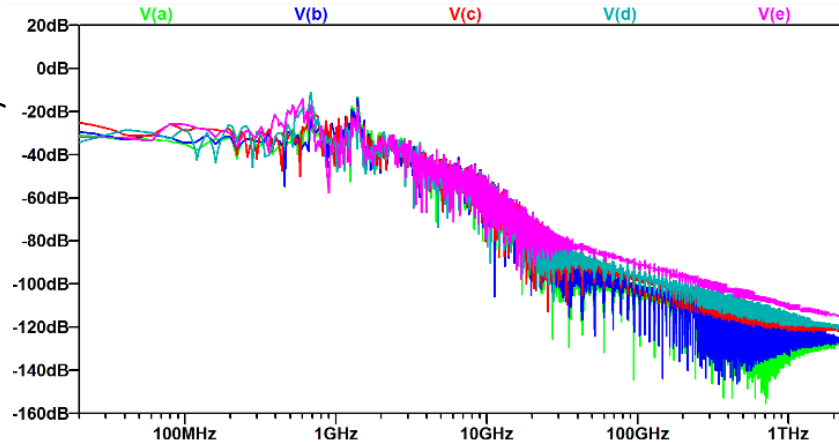
(a)位相差0



(b)位相差78ps刻み



(c)位相差116ps刻み



出力が  
初期位相差（初期値）  
に依存



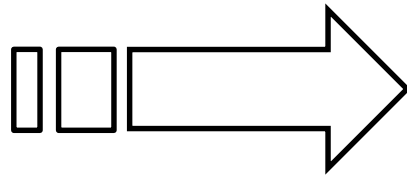
**カオスの可能性**

# カオス

カオス . . .

数的誤差により 予測不可能とされている複雑な様子を示す現象

Ex) バタフライ効果



蝶のはばたきが . . .

遠くの場所の気象を変える！

# Outline

- 研究背景と目的
- リング発振回路
- 位相引き込み現象
- 周波数引き込み現象
- まとめ



# まとめ

## 【まとめ】

### ■同期現象の調査・検証・解析

シミュレーションにより、リング発振回路で位相・周波数引き込み現象の確認

### ■位相引き込み現象:

位相同期時間と結合素子の関係

### ■周波数引き込み現象:

<2相>

結合素子により3つの干渉モードの存在

- ・ 独立振動
- ・ **臨界状態**
- ・ 同期振動

<5相>

初期位相差と出力電圧スペクトルの関係 → **カオスの可能性**

## 【今後】

■ **単純**な回路に内在する**複雑**系(カオス)の可能性を調査



Kobayashi  
Laboratory

Appendix.

## 参考

- 伊達章、「メトロノームの同期現象+」
- 橋本 聡子、「睡眠と生体リズム」、日薬理誌  
(Folia Pharmacol. Jpn.) 129, 400~403 (2007)
- 川上 博、「リズムと同期現象」
- <https://googirl.jp/renai/160218mirroring006/>

Q&A

# Q&A

Q前工大の先生:メトロノームの例というのは、メトロノーム自体は独立ですよ？今回の発振回路の例は全部繋がって、一つの系ですよ？2つは物理的に違う様に感じるけど。

A:メトロノームは台を通じて振動が伝わって同期している。

Q座長(脳神経専門):ミラーニューロンというのが脳内にあって、赤ちゃんをお母さん真似して、追従して学習していく役割がある。今回の現象の良い例、悪い例は？

A:回路設計やテストで予期せぬ挙動をしてしまうところがある。

コメント:カオスって話が出たけど、人の場合だと心臓にノイズを入れて、ある特定の周波数を感知しやすくなる、確率共鳴現象とかある。そういったところで、ノイズを入れてみたりするとちょっと面白くなりそう。カオスって話に行くのであればね。