

負性抵抗を含んだ 不均一ネットワークの時空間安定性

吉廣完治

片山翔吾, 桑名杏奈, 小林春夫

群馬大学 理工学府 電子情報部門

OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- まとめ

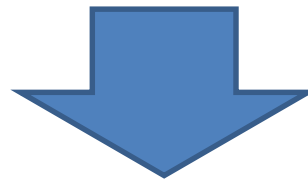
OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- まとめ

研究目的

回路網理論の定理:

負性抵抗を含む**均一**な抵抗ネットワークの
時空間安定性が一致する



この研究では:

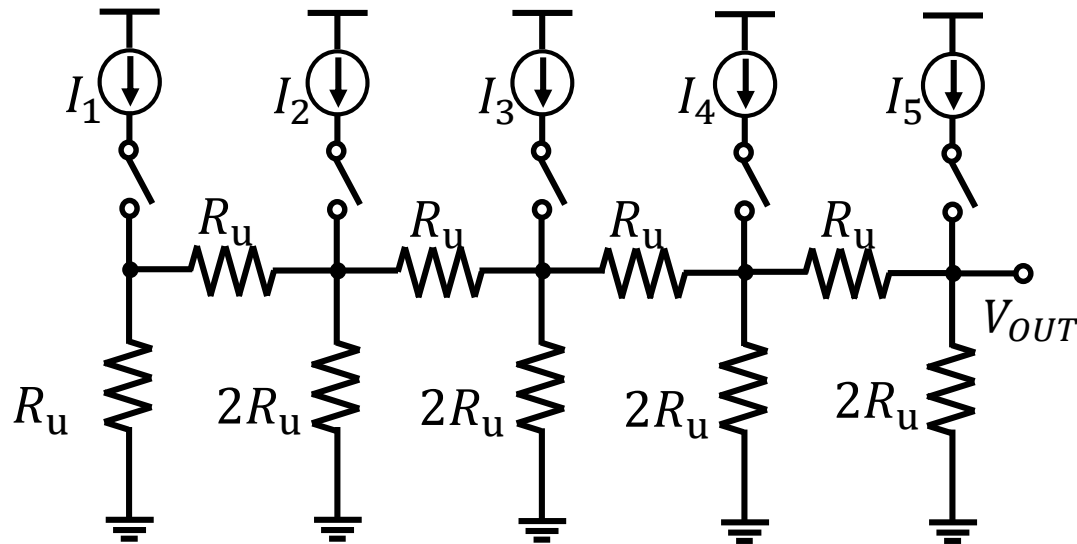
負性抵抗を含む**不均一**な抵抗ネットワークの
時空間安定性が一致するか を調べる

OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- まとめ

抵抗ネットワーク アナログ回路 (1)

R-2R DA変換器



5-bit R-2R 電流モード DA変換回路

長所

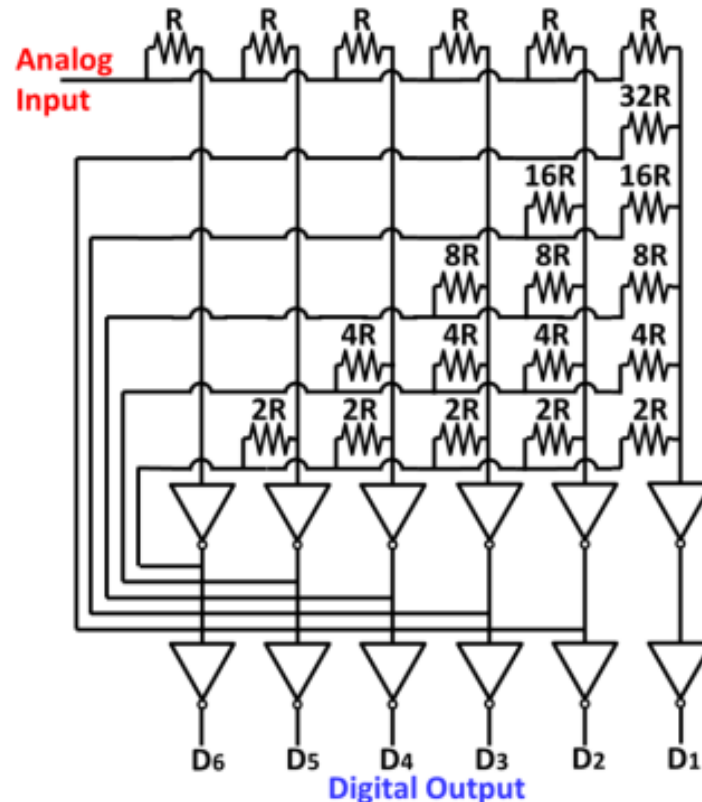
- 高速
- デコーダ回路不要

短所

- グリッチ 大
- 非単調性

抵抗ネットワーク アナログ回路 (2)

非同期逐次比較近似AD変換器



長所

- 低電力消費
- 小規模回路
- 高分解能

- [1] Z. Xu, X. Bai, D. Yao, A. Kuwana, H. Kobayashi,
 "Revisit to Hopfield Network for Asynchronous SAR ADC and DAC",
 IEEE 3rd International Conference on Circuits and Systems, Chengdu, China (Oct. 2021)

抵抗ネットワーク アナログ回路 (3)

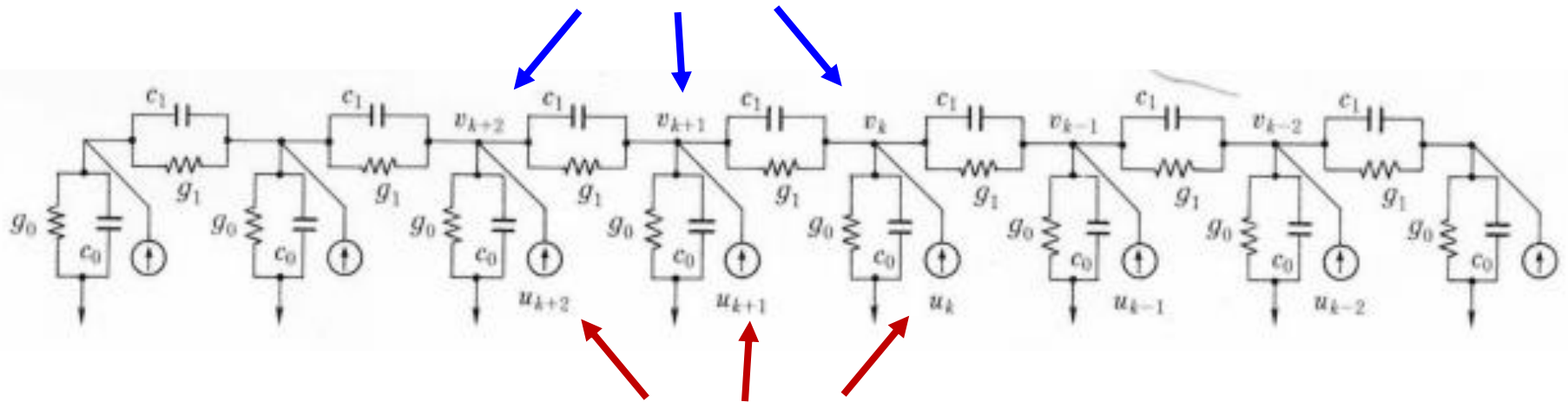
高速アナログ画像処理回路

1次元画像の場合

$$g_0 = 1/R_0$$

$$g_1 = 1/R_1$$

ノード電圧: 出力画像



ノード注入電流: 入力画像

[2] C. A. Mead, Analog VLSI and Neural Systems.
Reading, MA: Addison Wesley, 1989

OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- まとめ

抵抗ネットワーク アナログ回路 (4)

高速アナログ画像処理回路

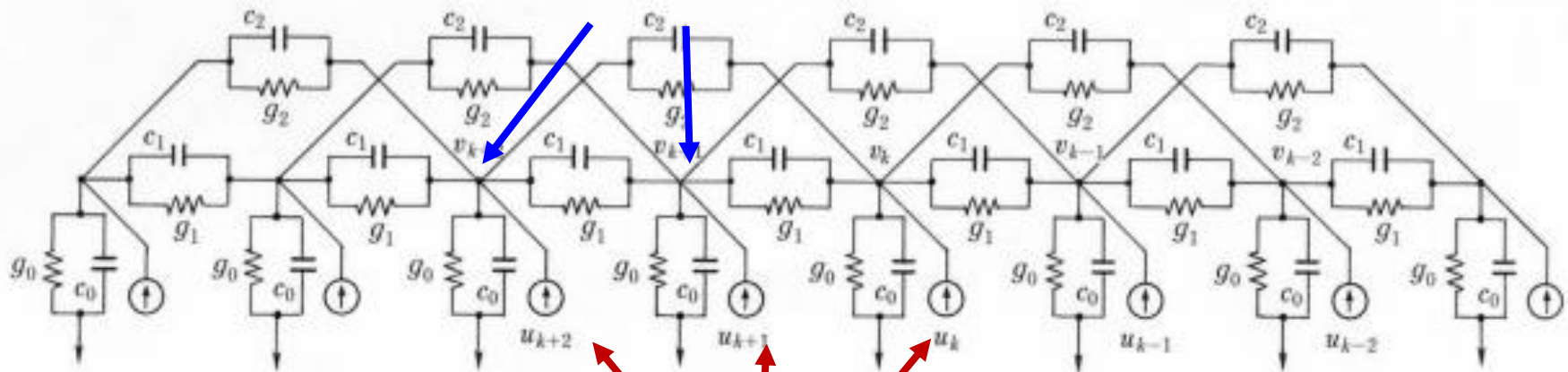
1次元画像の場合

$$\begin{aligned} g_0 &= 1/R_0 \\ g_1 &= 1/R_1 \\ g_2 &= 1/R_2 \end{aligned}$$

$$R_2 = -4R_1 < 0$$

ノード電圧: 出力画像

負性抵抗

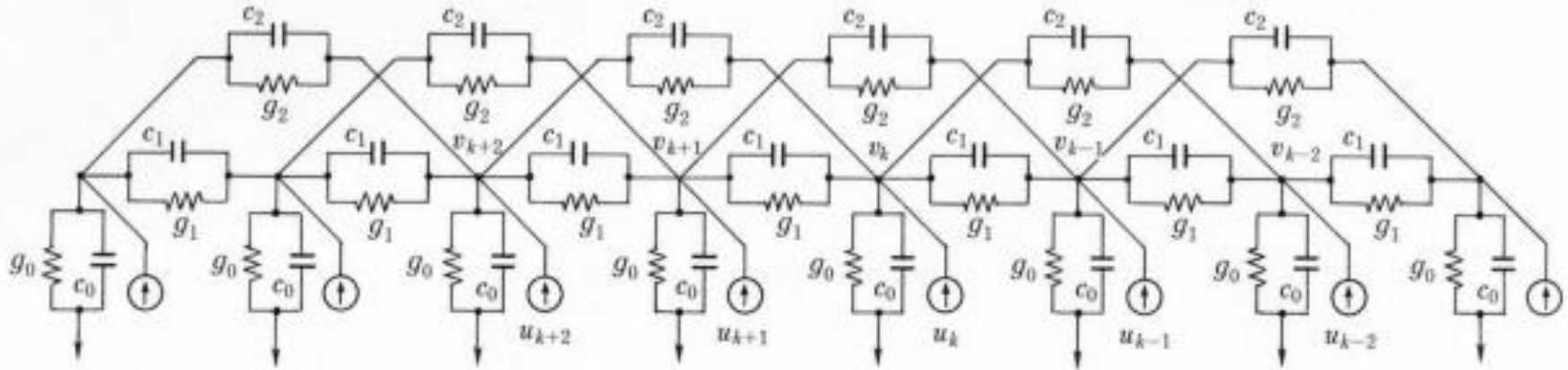


ノード注入電流: 入力画像

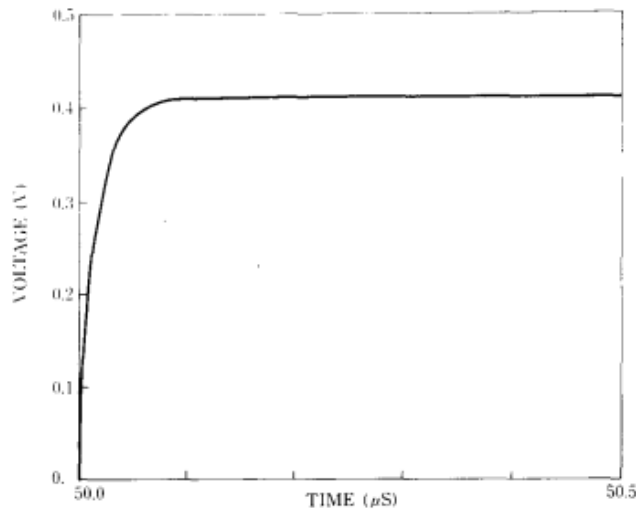
- [3] H. Kobayashi, J. L. White, A. A. Abidi,
 "An Active Resistor Network for Gaussian Filtering of Images",
 IEEE Journal of Solid-State Circuits (May 1991)

シミュレーション結果 時空間安定

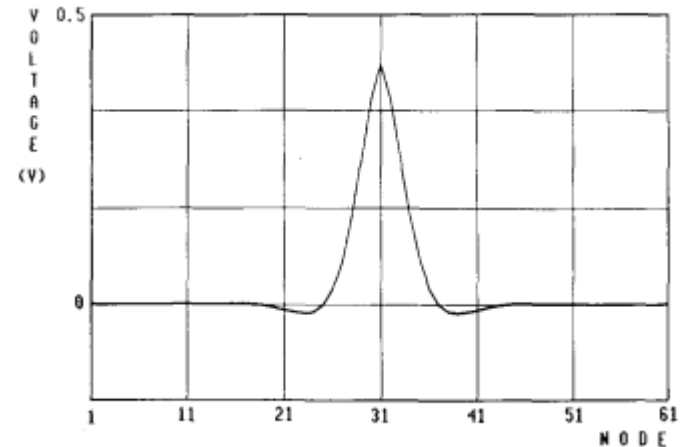
$$R_0 = 1/g_0 = 200\text{k}\Omega, \quad R_1 = 1/g_1 = 5\text{k}\Omega, \quad R_2 = 1/g_2 = -20\text{k}\Omega$$



時間安定



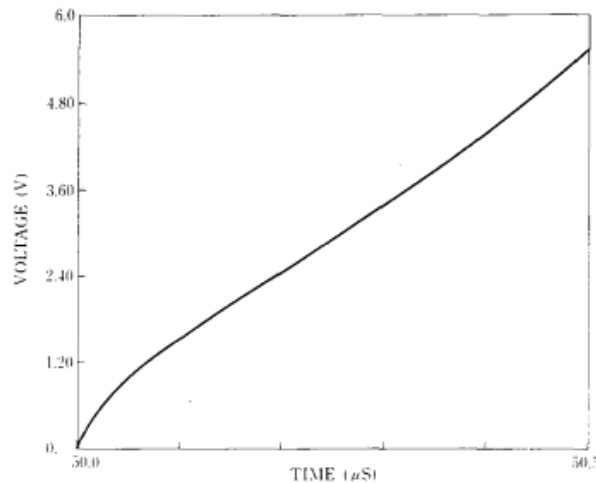
空間安定



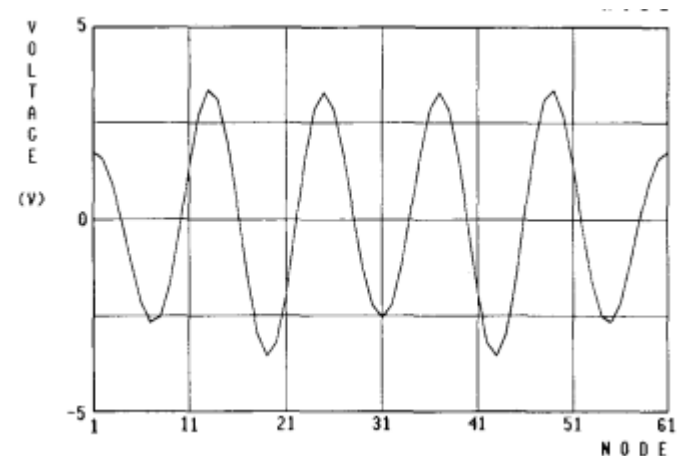
シミュレーション結果 時空間不安定

$$R_0 = 1/g_0 = 200\text{k}\Omega, \quad R_1 = 1/g_1 = 5\text{k}\Omega, \quad R_2 = 1/g_2 = -17\text{k}\Omega$$

時間不安定



空間不安定



回路網理論の定理:

負性抵抗を含む均一な抵抗ネットワークの時空間安定性が一致する

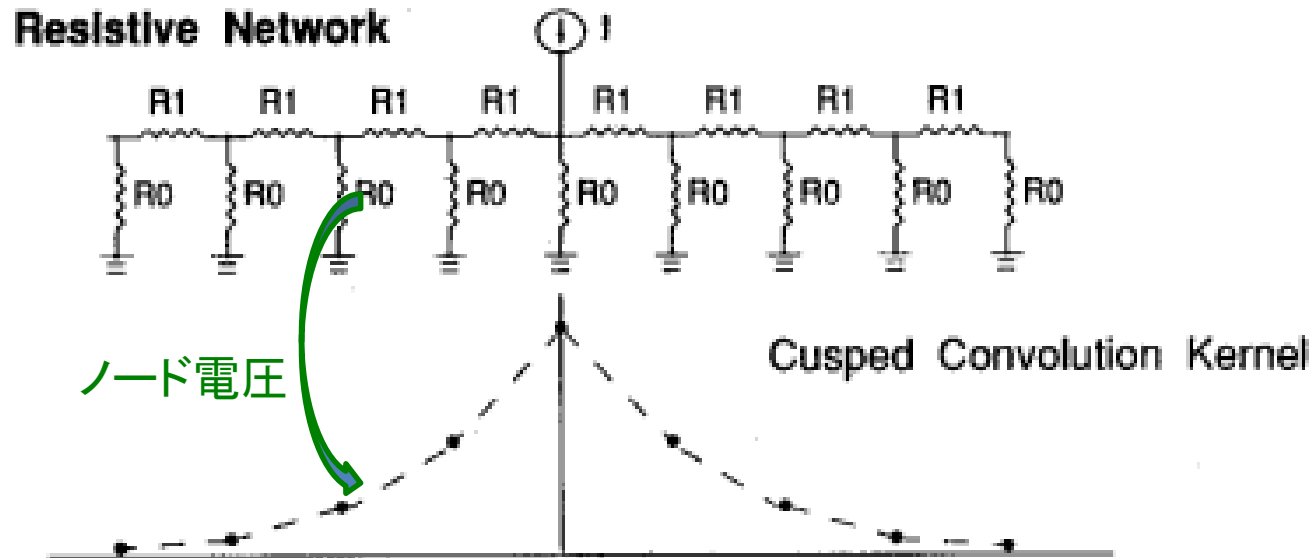
- [4] T. Matsumoto, H. Kobayashi and Y. Togawa,
 "Spatial Versus Temporal Stability Issues in Image Processing Neuro Chips",
 IEEE Trans. on Neural Networks, vol.3, no.4, pp.540-569 (July 1992).

OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワーク時空間安定性
- まとめ

空間インパルス応答

高速アナログ画像処理回路



尖った空間インパルス応答

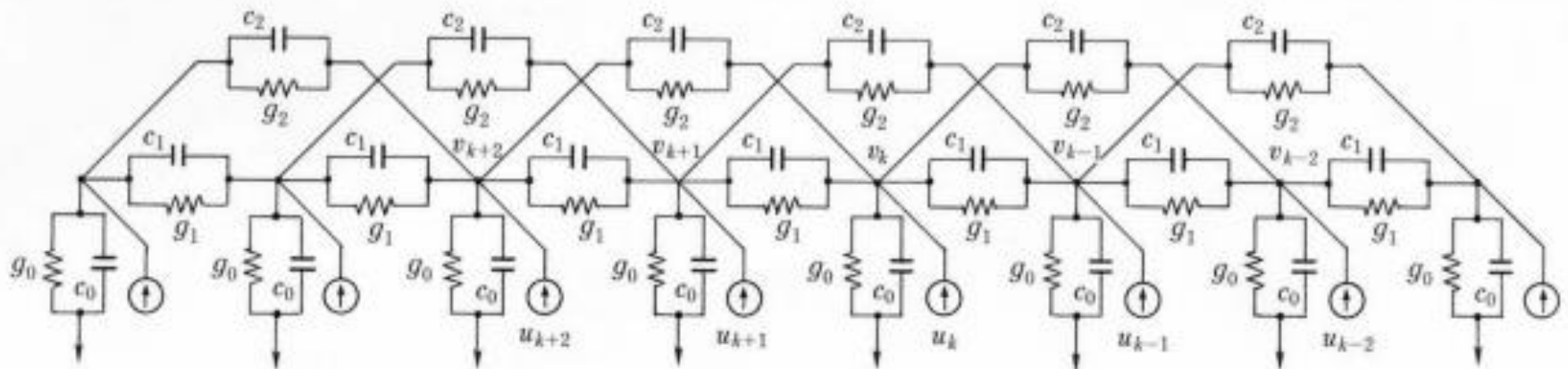
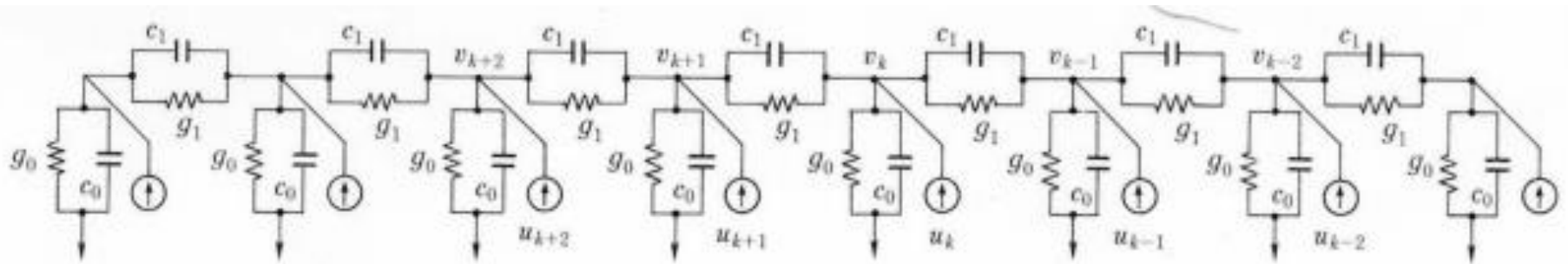
- [5] C. A. Mead, Analog VLSI and Neural Systems.
Reading, MA: Addison Wesley, 1989

OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - **時間ダイナミクス**
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワーク時空間安定性
- まとめ

容量による時間ダイナミクス

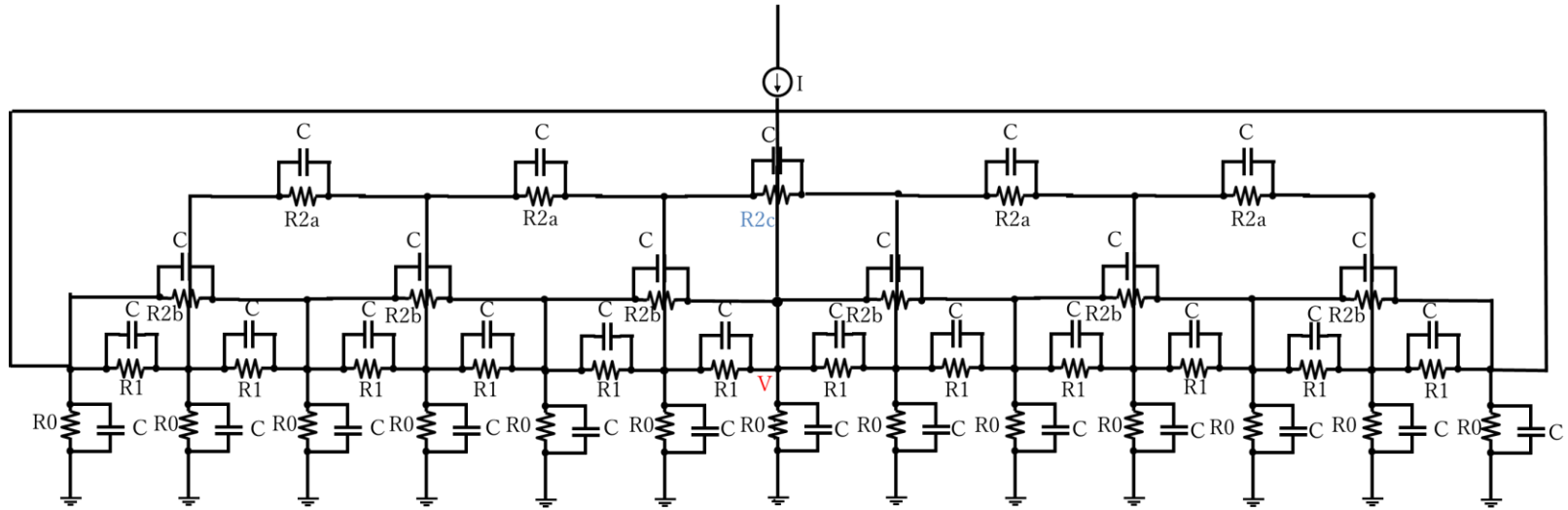
時間ダイナミクスの導入のため 容量も考える



OUTLINE

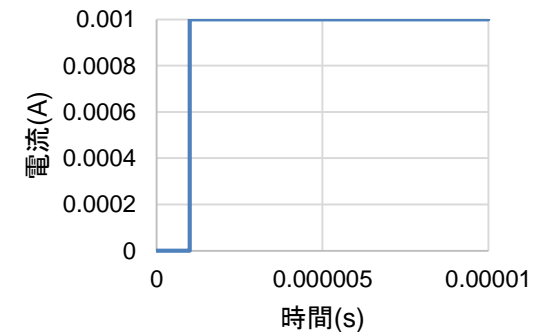
- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- まとめ

Uniform 時間安定性を確認する回路



Parameter	Value
R0	1k Ω
R1	25k Ω
R2a, R2b, R2c	R2a = R2b = R2c
C	1pF
I (step current)	0~1.0us: 0A, 1.0us~: 1.0mA

実際はノード数を161個で実行

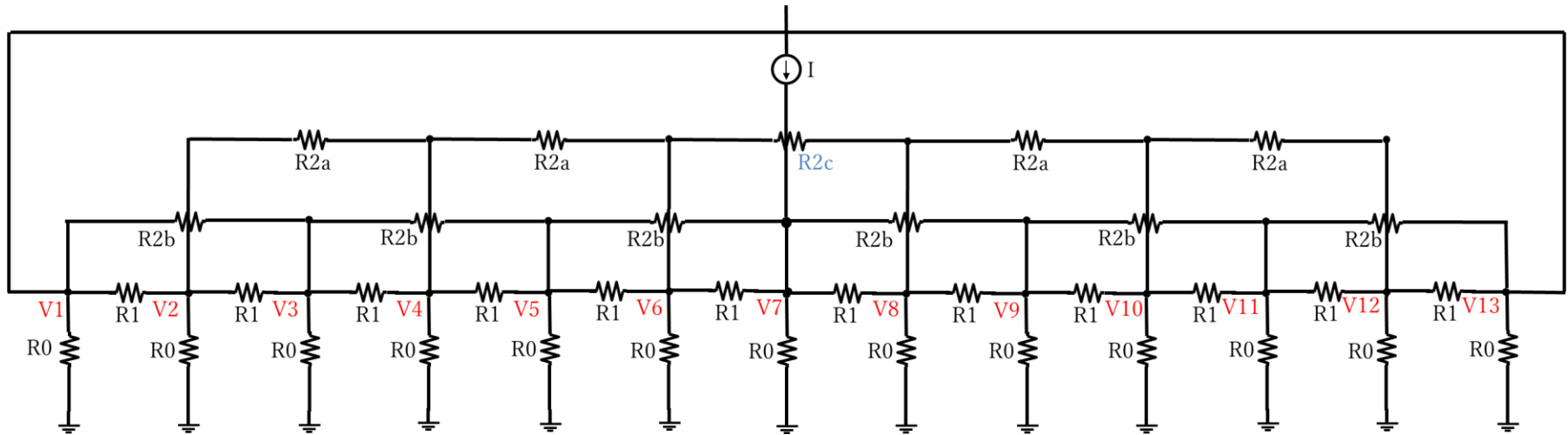


Uniform 時間安定性シミュレーション結果

R2a, R2b, R2c を $-100\text{k}\Omega$ から上げていき、安定と不安定の間を見つける

R2a = R2b = R2c [Ω]	Temporal stability
-100k	stable
-50k	stable
-25k	stable
-10k	stable
-5k	stable
-4k	stable
-3.8k	stable
-3.75k	stable
-3.7k	unstable
-3.5k	unstable
-3k	unstable
-1k	unstable

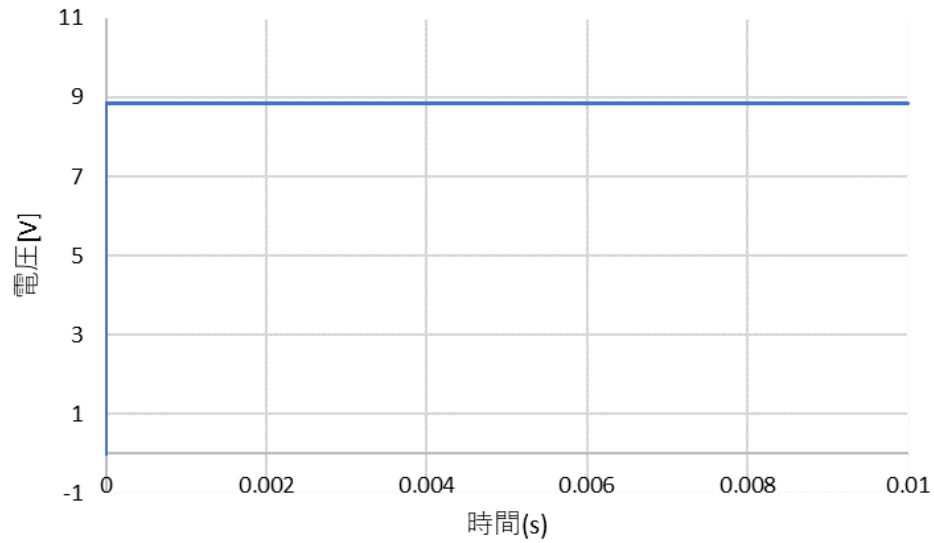
Uniform 空間安定性を確認する回路



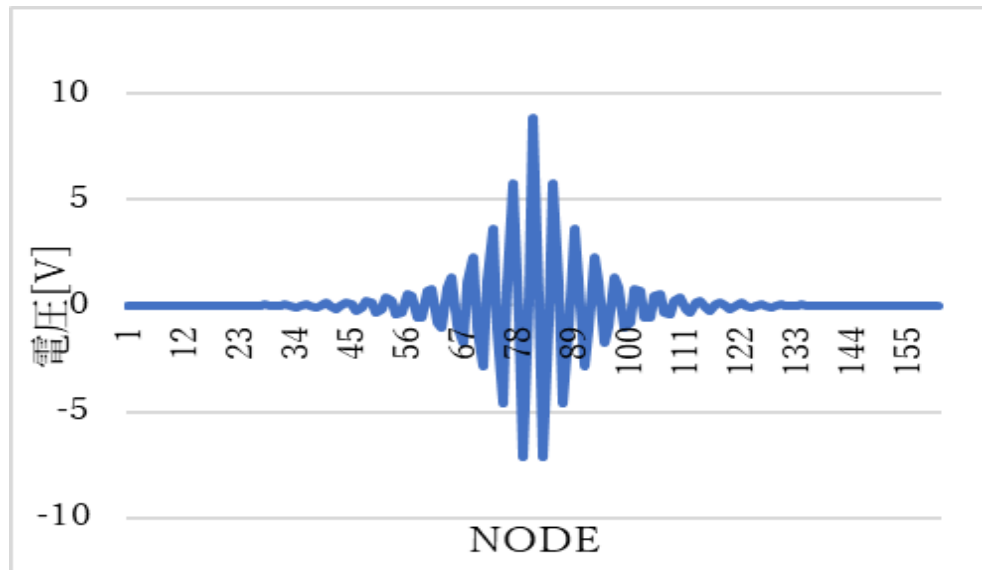
Parameter	Value
R0	1k Ω
R1	25k Ω
R2a, R2b, R2c	R2a = R2b = R2c
I	1mA

実際はノード数を161個で実行

$$R2 = -3.75k\Omega$$

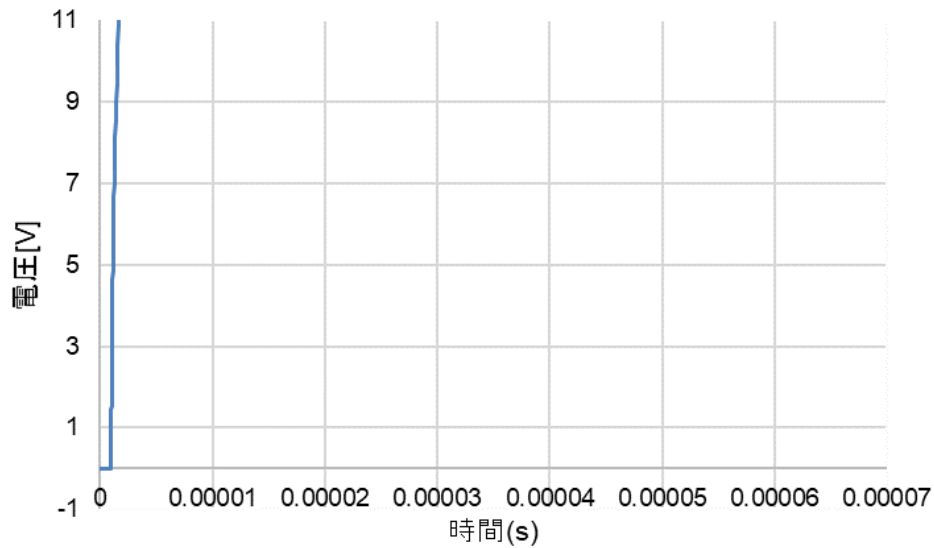


時間安定

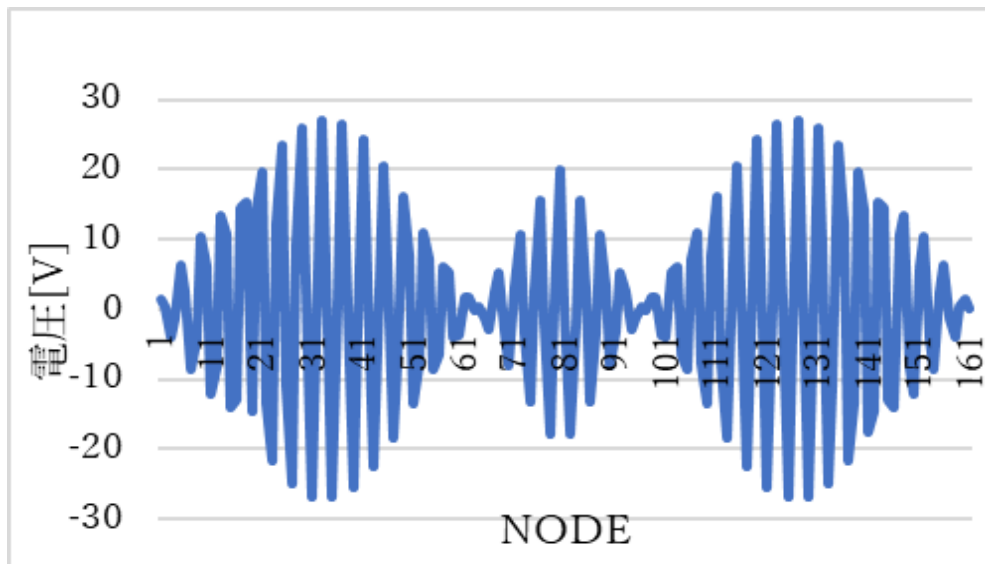


空間安定

$$R2 = -3.7\text{k}\Omega$$



時間不安定

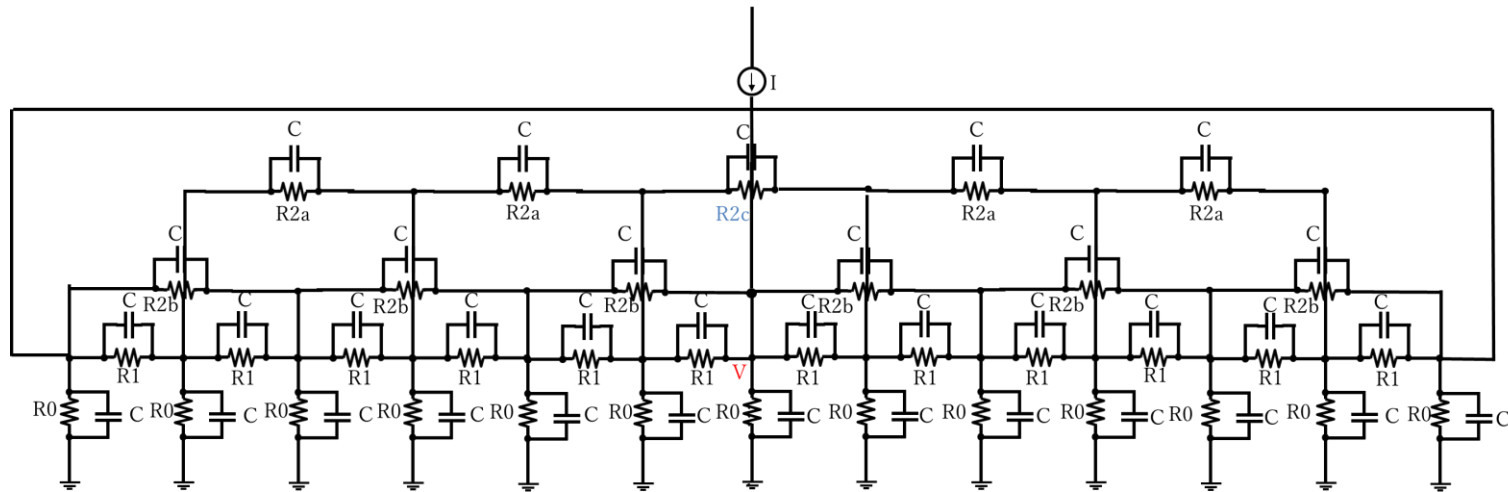


空間不安定

OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- まとめ

Non Uniform 時間安定性を確認する回路



Parameter	Value
R0	1k Ω
R1	25k Ω
R2a	R2a < 0
R2b	-4k Ω
R2c	∞
C	1pF
I (step current)	0~1.0us: 0A, 1.0us~: 1.0mA

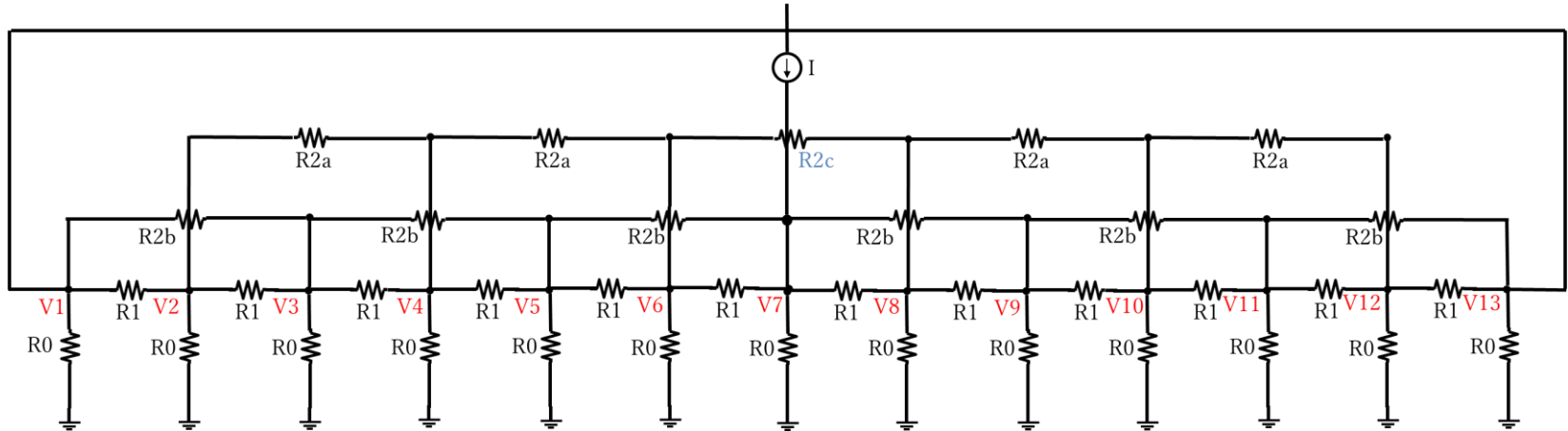
実際はノード数を161個で実行

Non Uniform 時間安定性シミュレーション結果

R2aを $-4\text{k}\Omega$ から上げていき、安定と不安定の間を見つける

R2a[Ω]	Temporal stability
-4k	stable
-3.9k	stable
-3.7k	stable
-3.699k	stable
-3.6984k	stable
-3.6983k	unstable
-3.698k	unstable
-3.695k	unstable
-3.69k	unstable
-3.68k	unstable
-3.65k	unstable
-3.6k	unstable
-3.5k	unstable

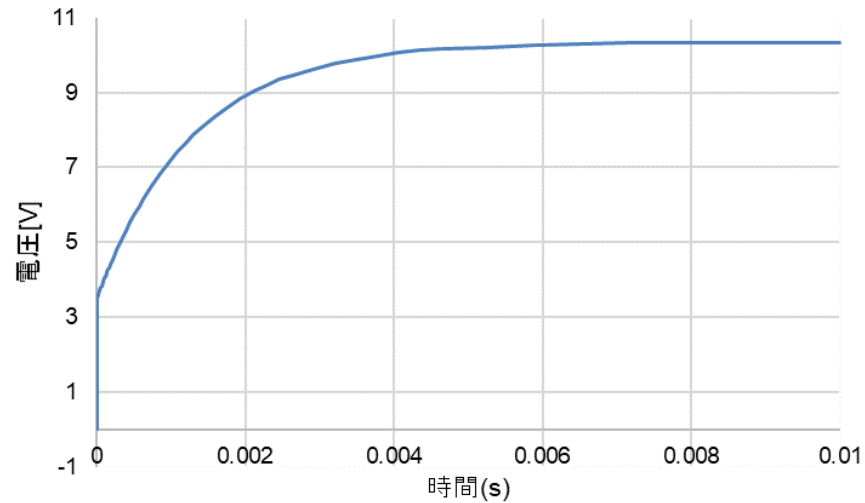
Non Uniform 空間安定性を確認する回路



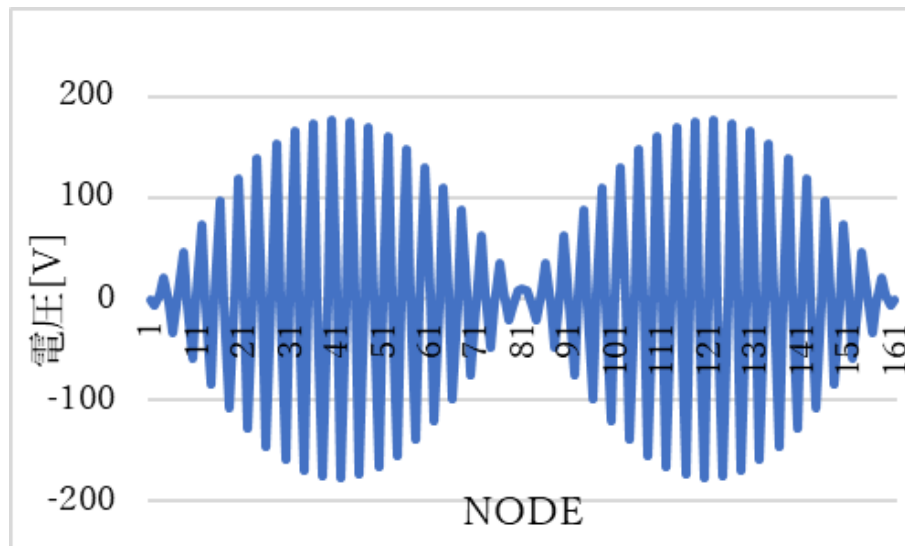
Parameter	Value
R0	1k Ω
R1	25k Ω
R2a	R2a < 0
R2b	-4k Ω
R2c	∞
I	1mA

実際はノード数を161個で実行

$$R2a = -3.6984k\Omega$$

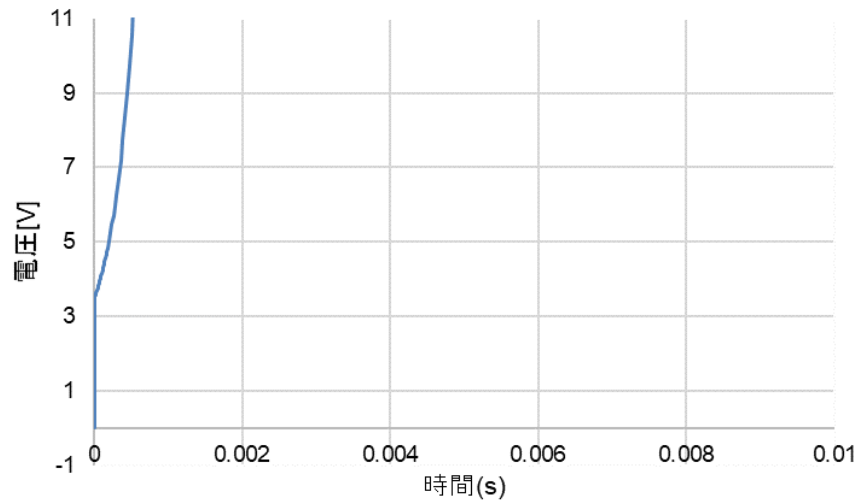


時間安定

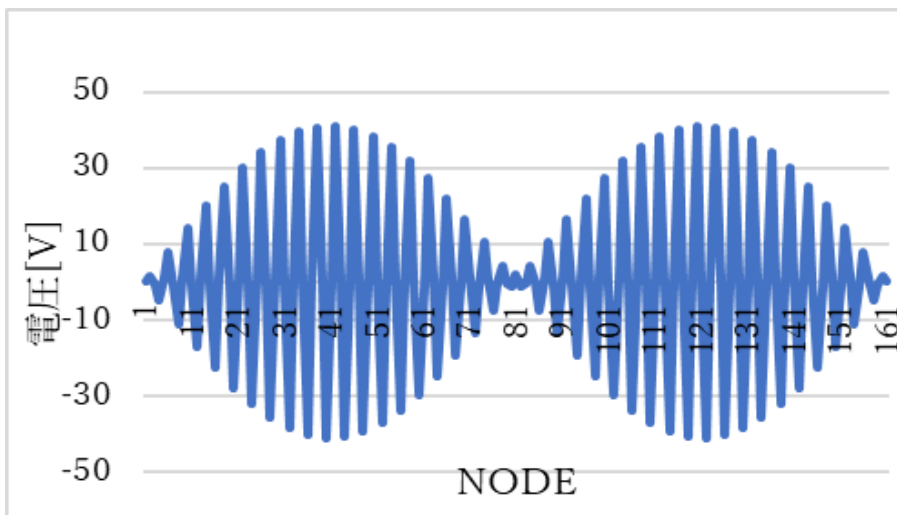


空間不安定

$$R2a = -3.6983k\Omega$$

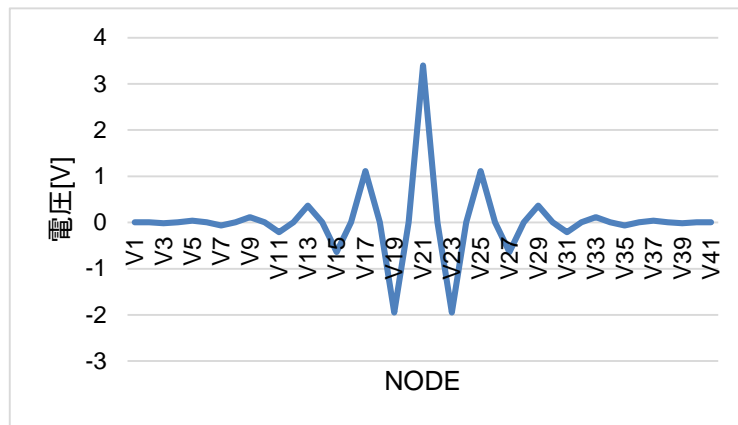


時間不安定



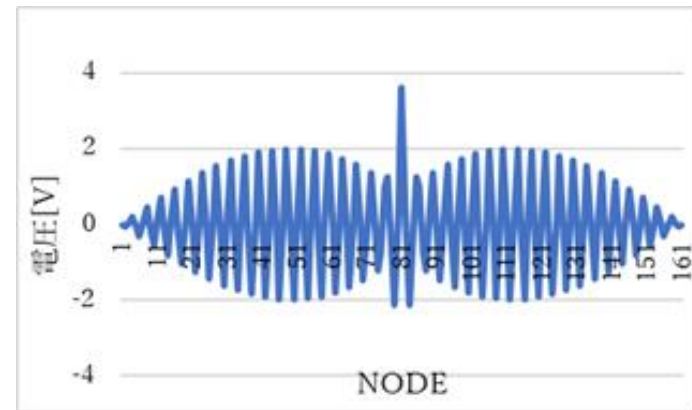
空間不安定

その他 時空間安定性



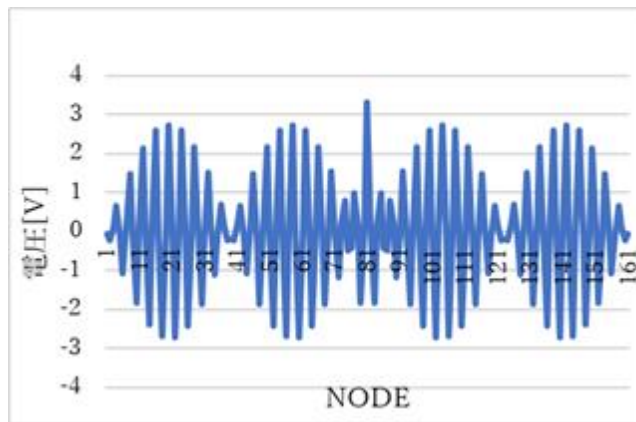
$$R2a = -3.9k\Omega$$

時間安定 空間安定



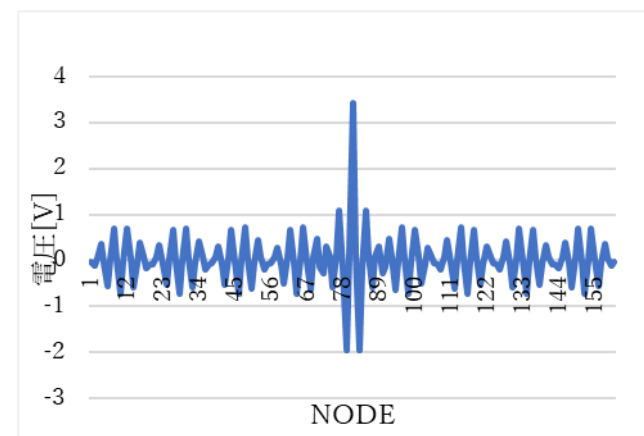
$$R2a = -3.7k\Omega$$

時間安定 空間不安定



$$R2a = -3.68k\Omega$$

時間不安定 空間不安定



$$R2a = -3.6k\Omega$$

時間不安定 空間不安定

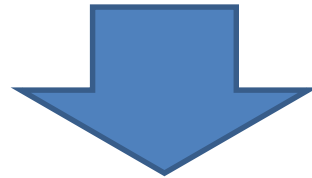
OUTLINE

- 研究目的
- 研究背景
- 負性抵抗を含んだ抵抗ネットワーク
 - 空間インパルス応答
 - 時間ダイナミクス
- 均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- 不均一抵抗ネットワークの時空間安定性
- まとめ

まとめ

回路網理論の定理:

負性抵抗を含む**均一**な抵抗ネットワークの
時空間安定性が一致する



この研究では

「負性抵抗を含む**不均一**な抵抗ネットワークの
時空間安定性は必ずしも一致しない」を示した

最後に：時間と空間

ニュートン：プリンキピア

時間と空間は独立した別のもの

アインシュタイン：相対性理論

時間と空間は一体

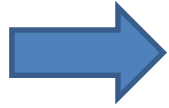
宇宙 = 時空間

「往古来今、之を宙と謂い、
四方上下、之を宇と謂う」(淮南子)

宇：空間 宙：時間

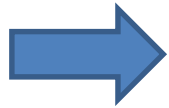
質疑応答

- 空間応答の安定性の定義は？



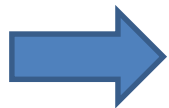
グラフの両端の値がほとんど0になったとき空間安定。0にならないとき空間不安定と定義している。

- 時間応答の電流をステップ電流にした理由は？



RC回路のステップ応答を参考にステップ電流を用いた。

- 今後何かのデバイスに応用するのか？



今研究ではシミュレーション上での議論の段階のため、今後負性抵抗を用いてどのような物に応用できるかを考えていく