

電気電子工学I

石原尚

機械工学専攻 講師（アンドロイド工学）

5/20, 27, 6/3, 10, 17の5回で交流回路を学びます

交流回路解析に必要な基礎知識 (5/20)

直流回路解析と類似した交流回路の基礎解析 (5/27)

交流回路ならではの特性の解析 (6/3)

これまでの解析の
おさらいも含みます

交流回路の解析を簡単にする定理 (6/10)

定理の応用例 (6/17)

- 2 交流回路
 - 2.1 正弦波電圧・電流
 - 2.2 正弦波電圧・電流の複素数表示
 - 2.3 交流回路の複素数領域における解析法
 - 2.4 簡単な回路の正弦波定常解析
 - 2.5 複素インピーダンスと複素アドミタンス
 - 2.6 フェーザ図
 - 2.7 共振回路
 - 2.8 交流回路における電力
- 3 回路の諸定理
 - 3.1 回路の基本的性質
 - 3.2 重ね合わせの理
 - 3.3 テブナン等価回路とノートン等価回路
 - 3.6 ブリッジ回路
 - 3.7 整合
 - 3.8 電力と重ね合わせの理

前回学んでもらったこと

① 角周波数を変えた場合フェーザ図はどうなるか.

- フェーザの先端が動いて何らかの軌跡を描く（フェーザ軌跡）

② 交流回路でおこる共振とは何か. 何が起きているか.

- 複素電源によって振動回路の電流振幅が顕著に増大すること
- 複素電源の周波数と振動回路の固有周波数が（ほぼ）一致している
- 回路の複素インピーダンスの虚部が0になり電流実効値が最大になっている

アンテナやノイズキャンセルに
利用されます

③ 交流回路では電力はどうなっているか. どう表現されるか.

- 電流と電圧の位相がずれるので、位相差に応じた電力効率低下が起きる
- 電圧の共役複素数と電流の積が複素電力
- 複素電力の実部が有効電力で、虚部が無効電力

回路の内外をうろうろ
するだけの電力です

本日学ぶこと

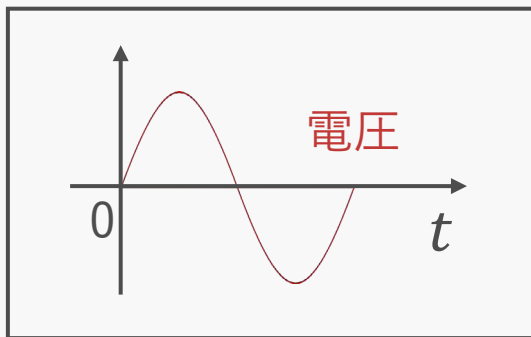
- ① これまでに扱ってきた交流回路の性質と解析法のおさらい.
- ② 複数の電源がある場合の解析はどうすればよいか.
- ③ 複数の電源や素子を含む回路はどこまで単純に置き換えられるか.

交流回路においては

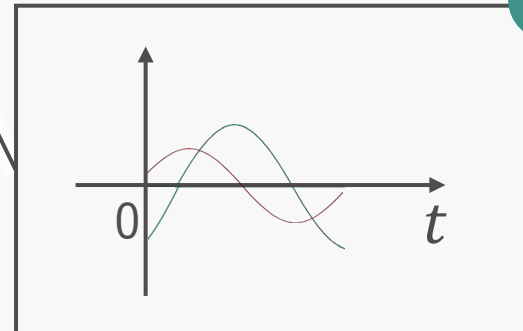
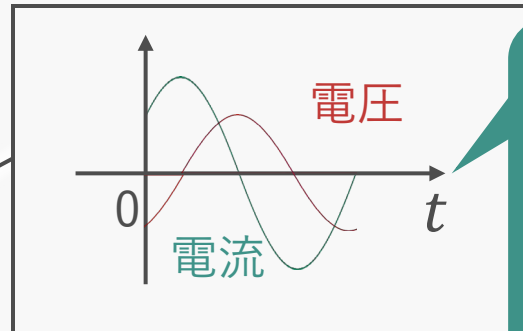
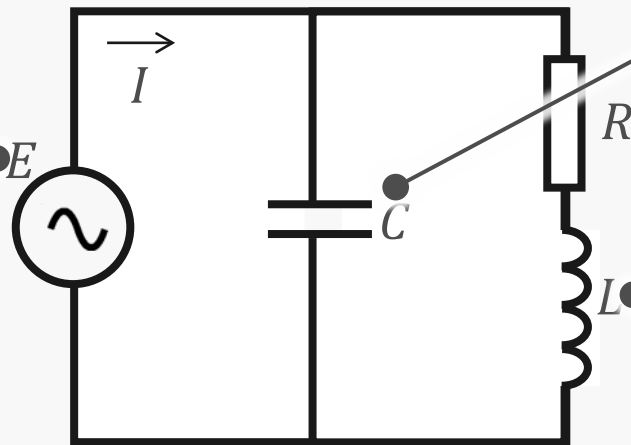
回路各部で、電圧や電流がある振幅や初期位相角で
周期変動する状態で安定している

交流回路の解析の目的は
この状態を把握すること

交流電源で強制的に
ここを振動させる（励振）



すると各部の電圧と電流もある振幅や初期位相で振動する



どのようになるかは
「回路パターン」と
「素子特性値」依存。
だから回路と素子の
方程式を立てて解く。

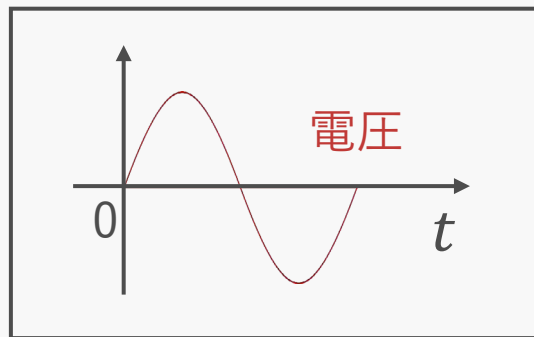
三角関数で表現されるので連立方程式を解くのが大変

重要な工夫

回路各部の電圧や電流の「時間領域での振動」を計算しやすくするために「複素数領域で表現」する

あくまで表現であり複素数の電圧が実際にあるわけではない

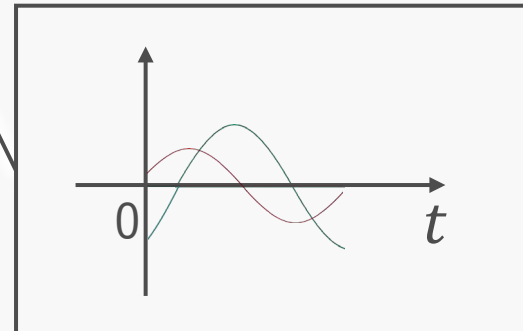
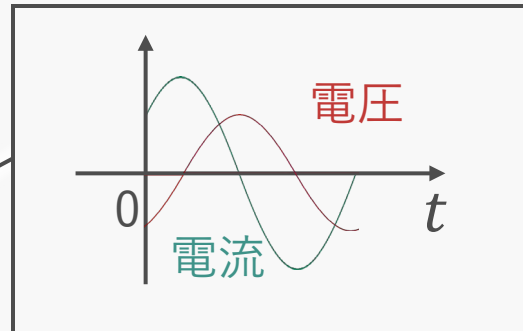
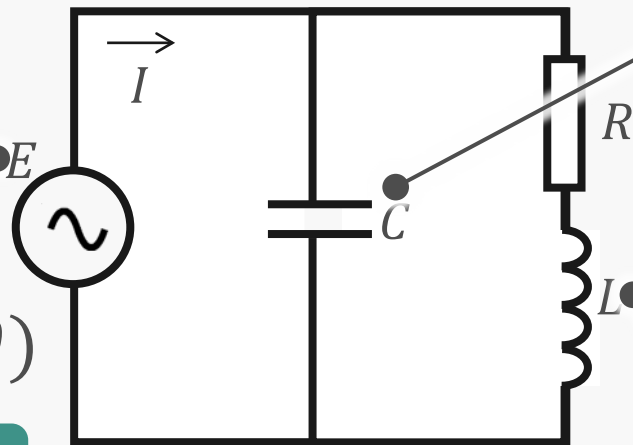
本来は時間領域での振動



$$v(t) = A_m \sin(\omega t \pm \theta)$$

実際に起きている時間領域での振動

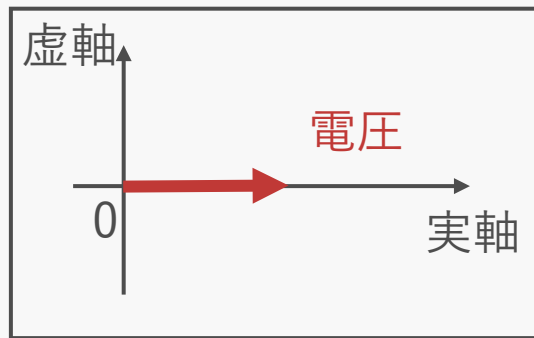
各部の電圧・電流も時間領域での振動



重要な工夫

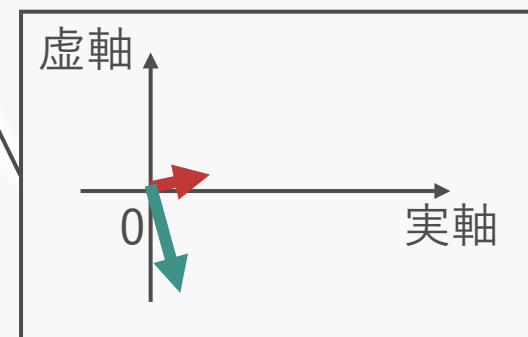
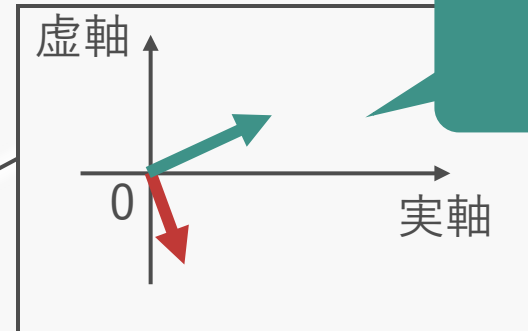
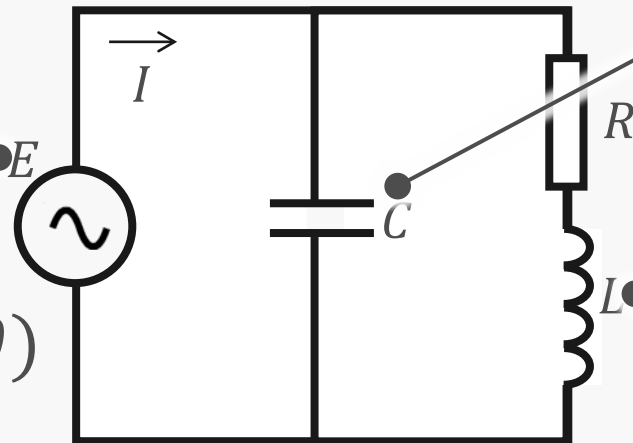
回路各部の電圧や電流の「時間領域での振動」を
計算しやすくするために「複素数領域で表現」する

実効値と初期位相角による
極座標表示で複素数に変換



$$v(t) = A_m \sin(\omega t \pm \theta)$$

$$V = |A_m| e^{\pm j\theta}$$

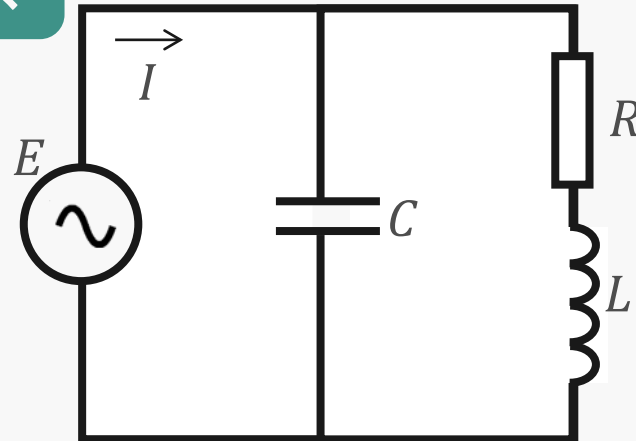


計算上置き換えただけで
実際はあくまで
時間領域での振動

重要な操作

「複素数領域で表現」した上で解析対象の電圧・電流の解を計算で求め、最後に「時間領域に戻す」

電圧平衡則・電流保存則・各素子の電圧電流関係式の連立方程式を解く



各素子の電圧電流関係式

$$\begin{aligned} V &= RI \\ V &= \frac{1}{j\omega C} I \\ V &= j\omega L I \end{aligned}$$

Q. なぜ複素数領域に置き換えて計算しても構わないのか？

A. 双方の領域の計算結果が一致するようにこの関係式が定義されているから

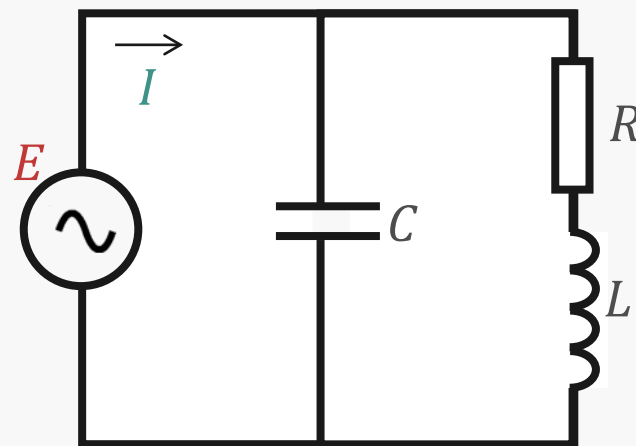
重要な性質

RLC回路は必ず電圧と電流の関係が線形になる

抵抗 (R), インダクタ (L), キャパシタ (C) の一部もしくは全部のみから成る回路

複素数を係数に持つ一次関数. この係数が複素インピーダンスと呼ばれる.

$$E = ZI$$



各素子の
電圧電流関係式

$$\begin{aligned} V &= RI \\ V &= \frac{1}{j\omega C} I \\ V &= j\omega L I \end{aligned}$$

複素数を係数に持つ
一次関数

電源が複数ある場合でも

RLC回路が代表例

直流回路解析でも
出ましたね

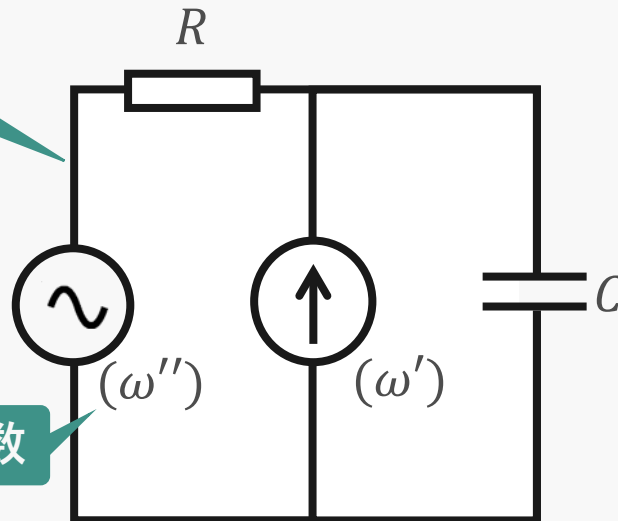
正弦波定常状態の線形回路には「重ね合わせの理」が成立するので、これを利用した解析ができる。

重ね合わせの理：各電源を個別に含む回路で求めた素子の電圧や電流の和が、元の回路のものと一致する

「角周波数の異なる」電源が複数含まれる回路の例

重ね合わせの理を使えばこんな回路も解析できる！

電源の角周波数



重ね合わせの理を利用した解析のステップ

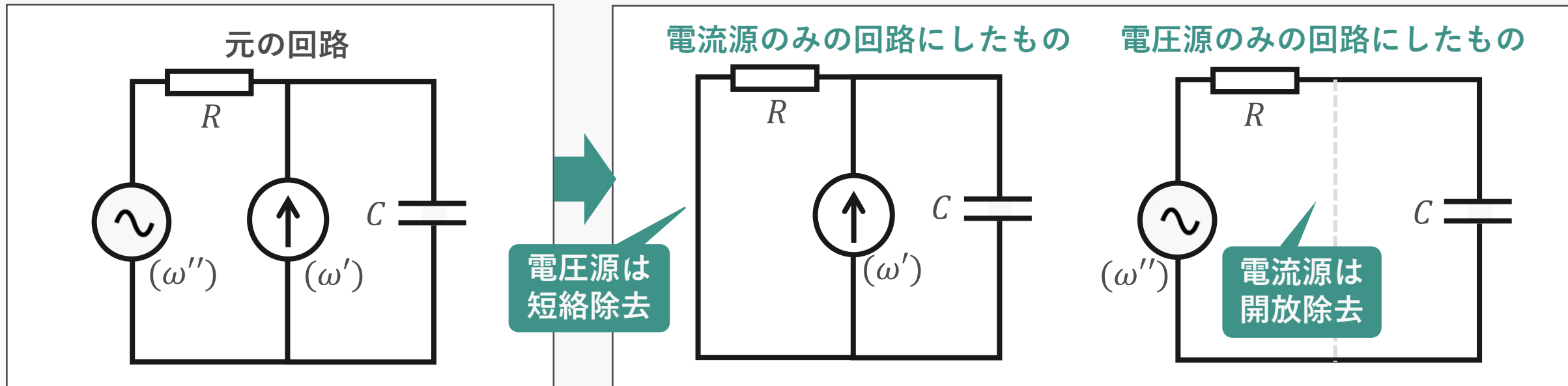
直流の重ね合わせの理と同じ

Step① 電源毎に他電圧源・電流源を短絡・開放除去

Step② 上記の各回路で電圧/電流を解析

Step③ 各部の電圧/電流を「時間領域で」合算

Step①の例



重ね合わせの理を利用した解析のステップ

Step① 電源毎に他電圧源・電流源を短絡・開放除く

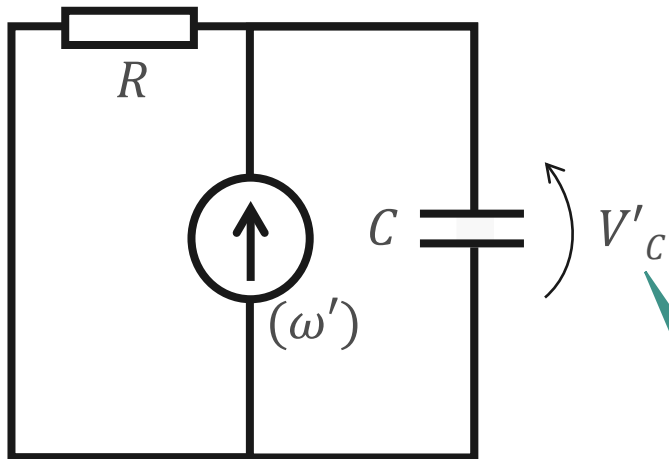
Step② 上記の各回路で電圧/電流を解析

これまでに習ってきた方法で解析

Step③ 各部の電圧/電流を「時間領域で」合算

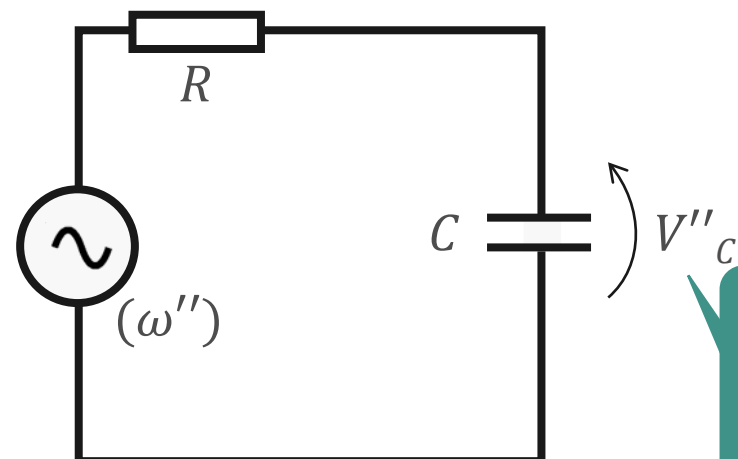
Step②の例

電流源のみの回路にしたもの



この回路における電圧を計算

電圧源のみの回路にしたもの



この回路における電圧を計算

重ね合わせの理を利用した解析のステップ

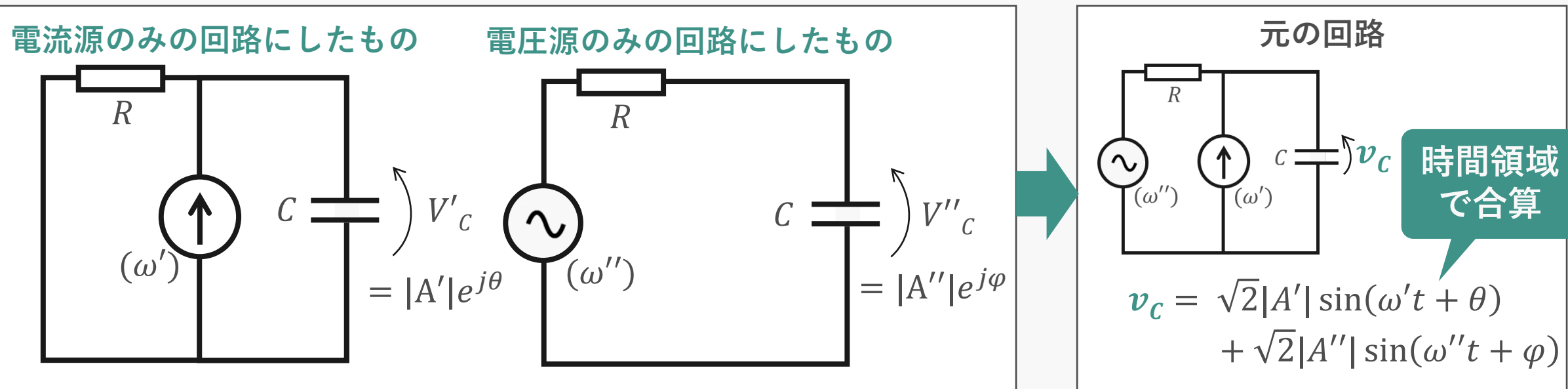
Step① 電源毎に他電圧源・電流源を短

Step② 上記の各回路で電圧/電流を解析

Step③ 各部の電圧/電流を「時間領域で」合算

周波数が違う場合
複素数領域では合算不可

Step③の例



重要な知識

RLC回路は、角周波数がどこでも等しい場合、

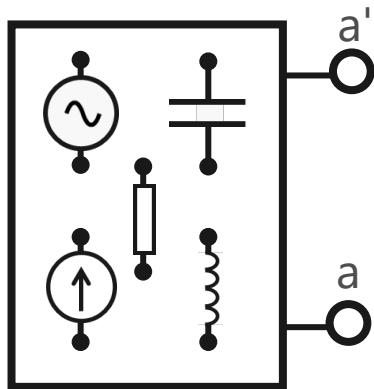
- ・ 電圧源と複素インピーダンス素子の直列回路か
- ・ 電流源と複素アドミタンス素子の並列回路

にまで単純化することができる

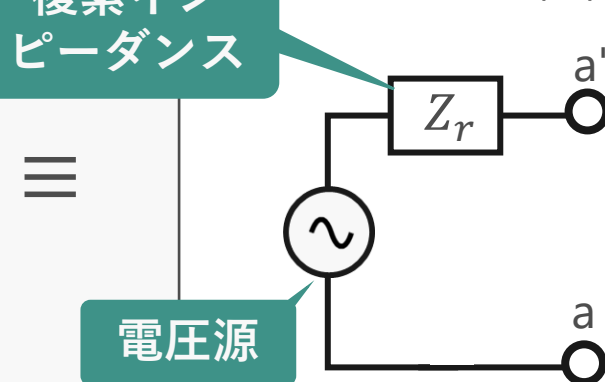
テブナン等価回路

ノートン等価回路

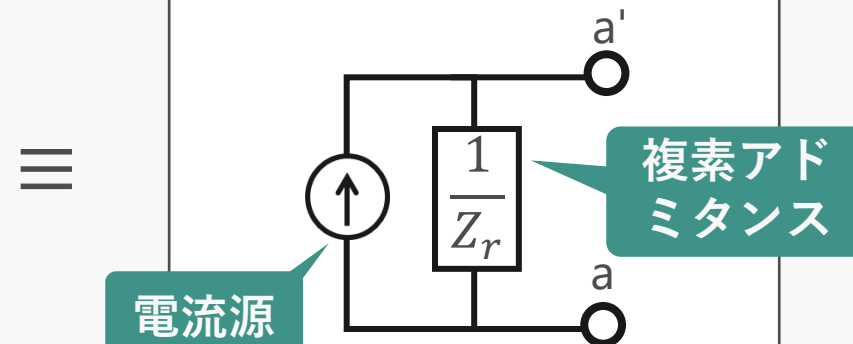
ややこしい回路N



複素インピーダンス テブナン等価回路



ノートン等価回路

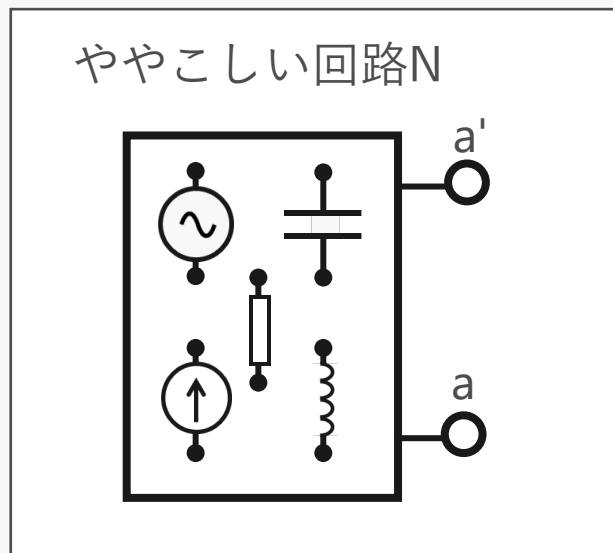


重要な知識

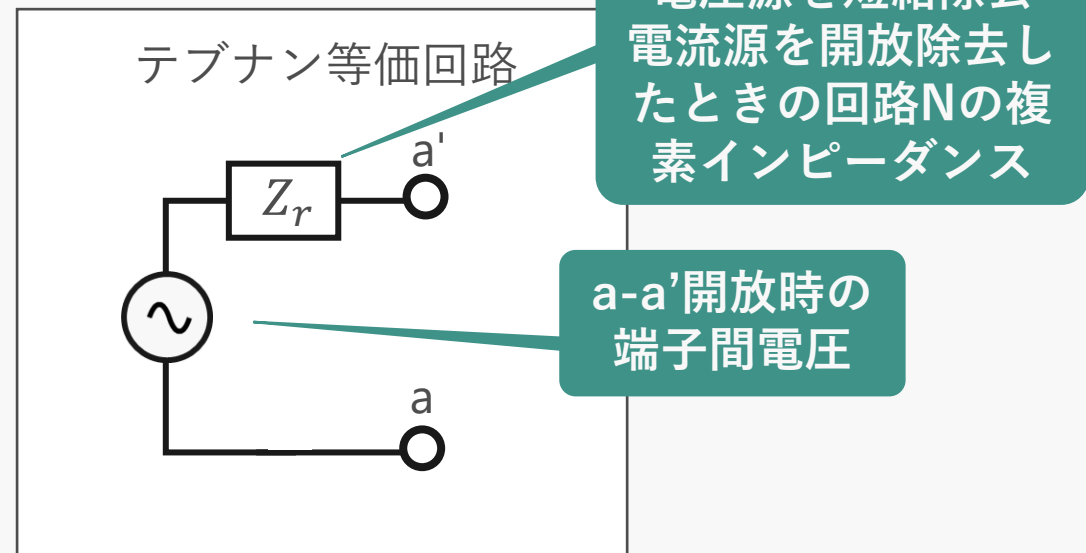
テブナン等価回路の電圧源は「**端子対開放時の端子間電圧**」となり，複素インピーダンスは「**電圧源短絡除去・電流源開放除去時のもの**」になる

ここがややこしい

重ね合わせの理
の操作と同じ



≡

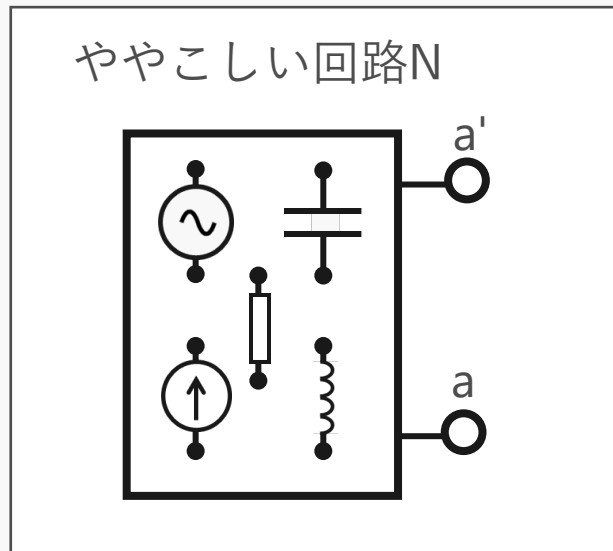


重要な知識

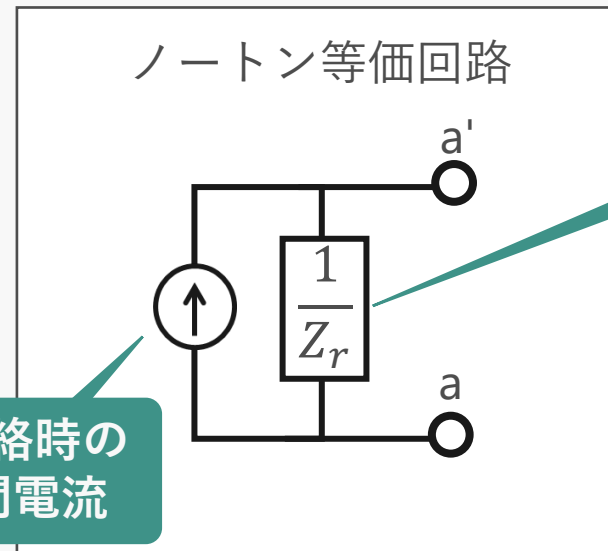
ここがややこしい

ノートン等価回路の電流源は「**端子対短絡時の端子間電流**」となり，複素アドミタンスは「**電圧源短絡除去・電流源開放除去時のもの**」になる

重ね合わせの理
の操作と同じ



≡



a-a'短絡時の
端子間電流

電圧源を短絡除去
電流源を開放除去し
たときの回路Nの複
素インピーダンス
「の逆数」

本日学んだこと

- ① これまでに扱ってきた交流回路の性質と解析法のおさらい.
電圧・電流の振動状態を複素数領域で計算後、時間領域に戻す
- ② 複数の電源がある場合の解析はどうすればよいか.
「重ね合わせの理」を活用する.
(1) 各電源毎に、他の電圧源を短絡除去・電流源を開放除去して解析
(2) 各素子ごとに電圧あるいは電流を「時間領域で加算」する
- ③ 複数の電源や素子を含む回路はどこまで単純に置き換えられるか.
直流回路と同様に、テブナン等価回路（電圧源と複素インピーダンス素子の直列回路）かノートン等価回路（電流源と複素アドミタンス素子の並列回路）に置き換えられる