

電気・機械工学科 1年後期

電気回路 I

～合同ガイダンス～

電気・機械工学教育類 電気電子分野
岩崎 誠, 前田 佳弘

私製テキスト「電気回路 講義ノート」をベースに進めますから忘れずに

授業の背景

～電気・機械工学科の説明から～

産業界からの要請

ものづくりの世界は大きく変革しており、電気と機械を切り離して考えることが難しくなっています。

ものづくり産業のニーズに合致したイノベーション人材を育成することを目的に、電気と機械が共存する新たな基幹学科を誕生させました。

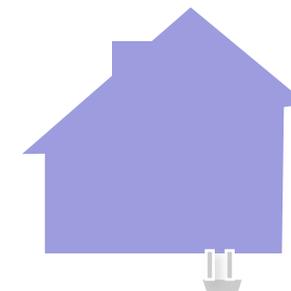
自動車や航空機と電装品

操作系(電動パワーステアリング、パワーウィンドウ、
ルーフ・ドア、電動シート、ワイパー、サンルーフ)

電力配分(ヘッドライト、
ターンライト、室内灯リ
レー)

エンジン

家庭用電源



三菱MRJ

Siemens電気飛行機



電気・機械工学の基礎学問 ～実際の製品との関連～



電気・電磁現象

電気回路
電気磁気学

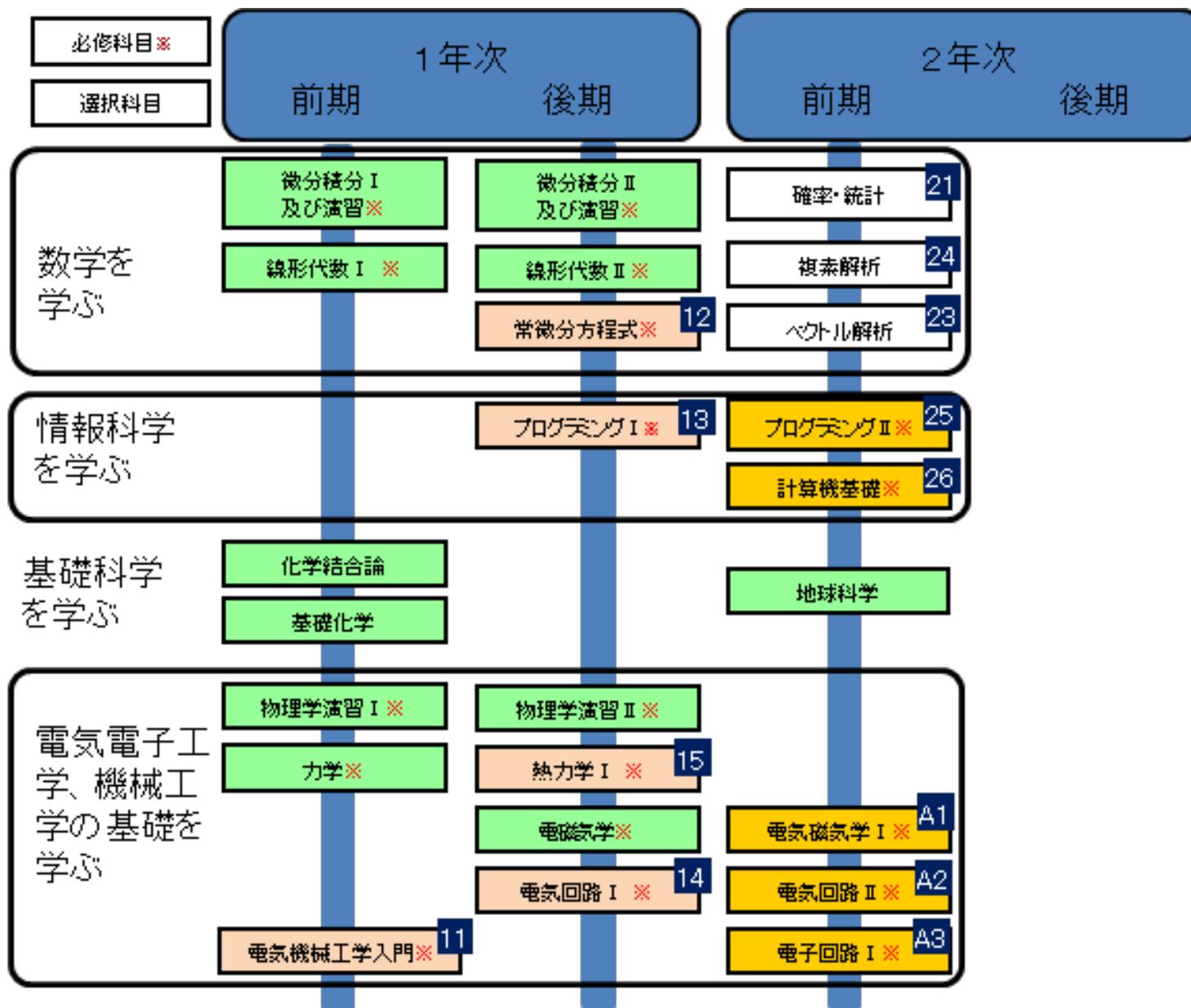
基礎科学

数学, 物理学
化学, 材料科学

機械と運動

力学, 熱力学

電気・機械工学の基礎学問 ～カリキュラムフローから～



授業の目的・達成目標

～シラバスから～

1年次前期に履修した電気・機械系の基礎数学を基に、電気回路の基礎知識、簡単な直流回路の過渡現象、交流電源による電気回路の現象を理解し、その基礎的な解析手法を学ぶ

【達成目標】

1. 電気回路学習に際しての**数学的準備**を理解する。
2. 電気回路を数式表現できる。
3. **ラプラス変換**によって簡単な**直流回路の過渡現象**を解くことができる。
4. 交流回路の解法である**フェーザ法**を理解し、簡単な**交流回路(定常状態)**を解くことができる。
5. **交流回路の電力**に関する知識を理解し、応用回路を解くことができる。

電気回路 I で何を学ぶか？

➤ 1年前期：電気機械工学入門(前半)

数学モデルの基礎(電気回路や運動方程式をベースに)

基礎数学の準備(複素関数の基礎, 微分方程式)

簡単な直流回路過渡現象の解法



「ラプラス変換」の基礎と直流回路の過渡現象を解く

「フェーザ法」による交流回路の定常状態を解く



➤ 2年前期：電気回路Ⅱ さらに 2年後期：電気回路Ⅲ

交流回路の解法(電力, 共振回路, 四端子回路, 三相交流回路)を極める

ラプラス変換による過渡現象解析

講義予定

具体的な日程については、各担当者から連絡します

- ① 合同ガイダンス
- ② 回路素子と電気回路(回路素子, 抵抗の消費電力, 過渡現象), および演習
- ③ ラプラス変換の基礎(微分方程式, ラプラス変換の定義, 基本性質, ラプラス逆変換)
- ④ ラプラス変換の基礎(微分方程式の解法)と演習
- ⑤ 直流回路の過渡現象(常微分方程式とラプラス変換による解法, RL直列回路, RC直列回路)
- ⑥ 【演習-1】ラプラス変換による電気回路の過渡現象
- ⑦ 中間試験
- ⑧ 交流回路の定常状態, 基本的な交流回路の定常電流
- ⑨ 複素数の交流回路への応用, 複素数の記号法と表示法, 複素数の四則演算
- ⑩ 正弦波電圧・電流のフェーザ表示, 回路解析へのフェーザの応用
- ⑪ インピーダンスと電圧・電流の関係, インピーダンスとアドミタンス
- ⑫ 【演習-2】複素数, インピーダンスとアドミタンス
- ⑬ 交流回路のエネルギーと電力, RLC回路の瞬時エネルギーと瞬時電力, 平均電力と実効値
- ⑭ 【演習-3】交流回路の電力と力率
- ⑮ 期末試験

講義予定

具体的な日程については、各担当者から連絡します

- ① 合同ガイダンス
- ② 回路素子と電気回路(回路)
- ③ ラプラス変換の基礎(微分方程式とラプラス変換、ラプラス逆変換)
- ④ ラプラス変換の基礎(微分方程式の解法と演習)
- ⑤ 直流回路の過渡現象(常微分方程式とラプラス変換による解法, RL直列回路, RC直列回路)
- ⑥ 【演習-1】ラプラス変換による電気回路の過渡現象
- ⑦ 中間試験
- ⑧ 交流回路の定常状態, 基本
- ⑨ 複素数の交流回路への応用
- ⑩ 正弦波電圧・電流のフェーザ
- ⑪ インピーダンスと電圧・電流の関係
- ⑫ 【演習-2】複素数, インピーダンス, インダクタンス
- ⑬ 交流回路のエネルギーと電力, RC回路の瞬時エネルギーと瞬時電力, 平均電力と実効値
- ⑭ 【演習-3】交流回路の電力と力率
- ⑮ 期末試験

直流回路の過渡現象を解く
～ラプラス変換で～

交流回路の定常状態を解く
～フェーザ法で～

成績評価方法と基準

レポート及び試験によって評価する

○中間試験(40点満点)

- 1) ラプラス変換の理解
- 2) 直流回路の数式表現の理解
- 3) ラプラス変換による簡単な直流回路過渡現象の解法の理解

○期末試験(50点満点)

- 1) 交流回路の数式表現の理解
- 2) フェーザ法による簡単な交流回路の解法の理解
- 3) 電力に関する応用回路の理解

○レポート(10点に換算)

授業計画に示すように、基本的に講義毎にレポートを課す。
翌週に返却する

直流回路の過渡現象

□ 直流回路の解析を通じて学ぶべきエッセンス・スキル

- 微分方程式を立てるスキル, 運動方程式(振動現象)との双対性, 微分方程式を解いて時間応答(過渡応答)
- “時定数”という概念(過渡応答をの特徴), 時定数を決定する回路パラメータ, “定常値”の把握(定常状態の解析)

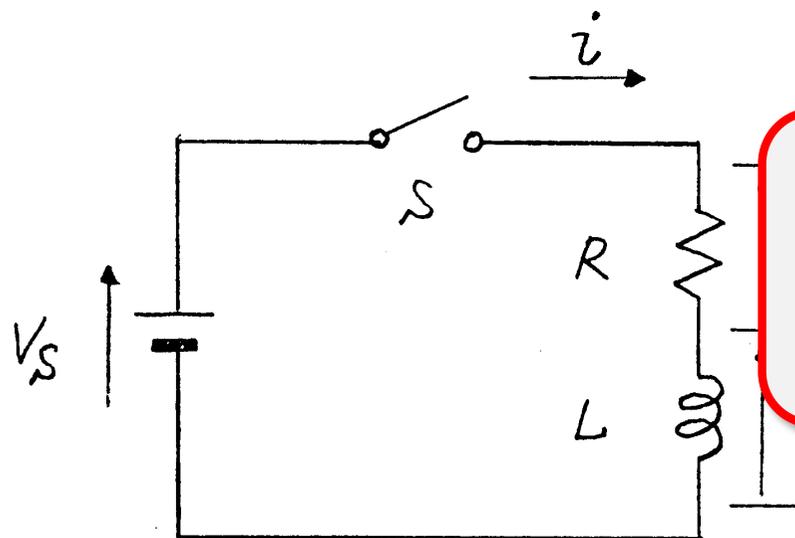
次ページ以降でデモを交えて復習と予習を

- 直流回路の過渡現象を解析できれば, 運動(振動)現象も同じように解析・理解できる!

□ 電気回路 I では“ラプラス変換”の基礎を学修して直流回路解析のエッセンスを極める

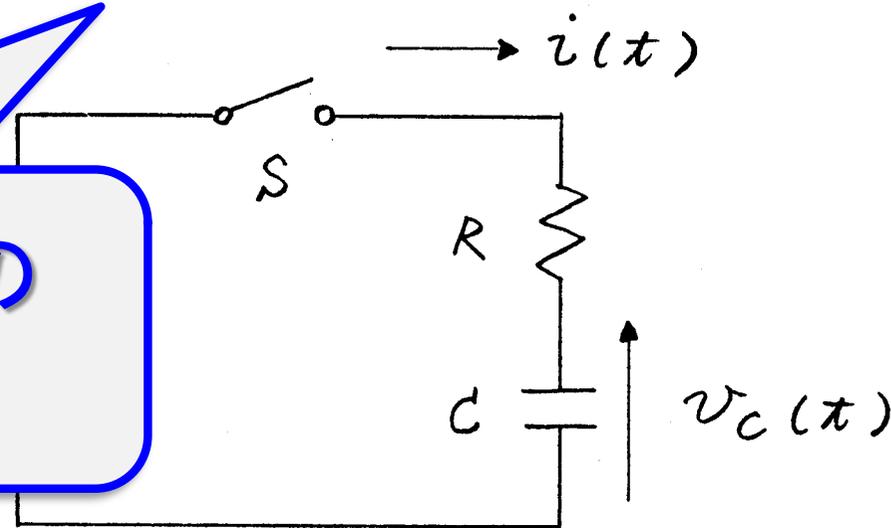
直流回路の例とそのエッセンス

直流電源(電池)に接続されたR-L直列回路



回路パラメータと過渡応答
の特徴(時定数)は？

時間が十分経過した時の
定常電流値は？



直流電源(電池)に接続されたR-C直列回路

直流回路の過渡現象の特徴

直流電源に接続されたR-L直列回路の電圧・電流波形の例

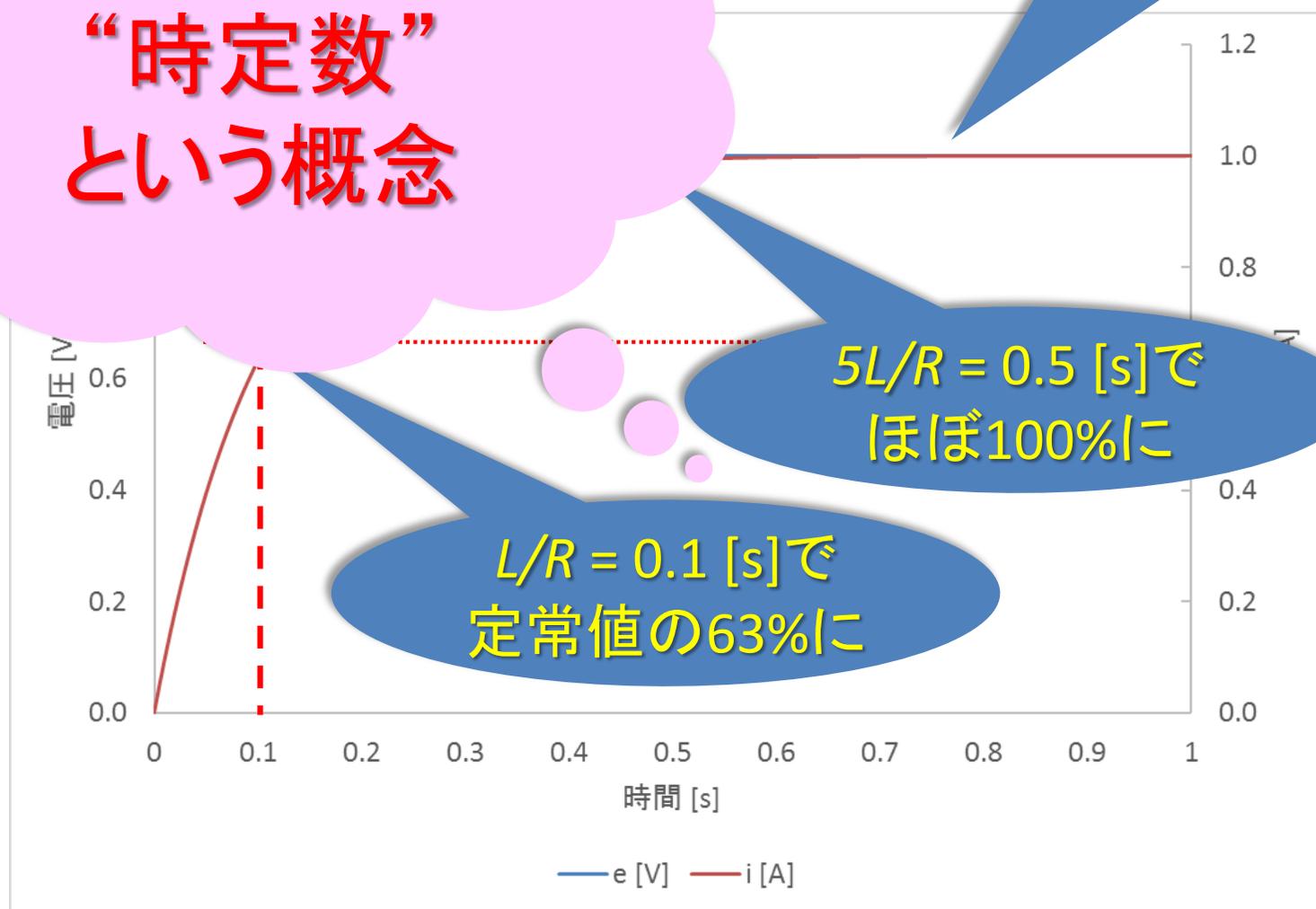
$$E = 1 \text{ [V]}, R = 1 \text{ [\Omega]}, L = 0.1 \text{ [H]}$$

“時定数”
という概念

定常電流値は
 $I = E/R = 1.0 \text{ [A]}$

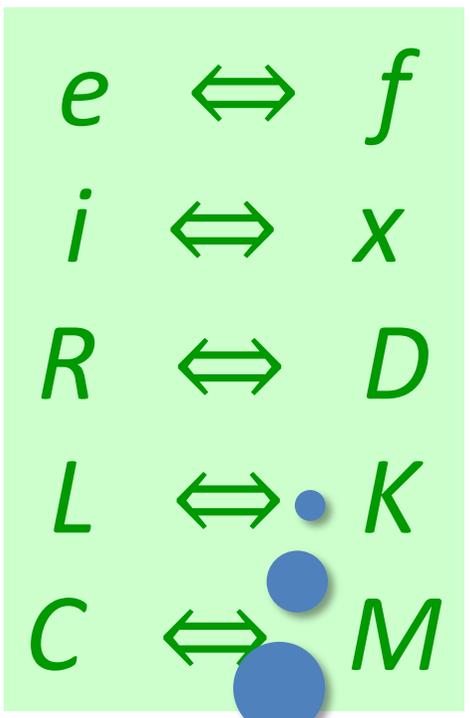
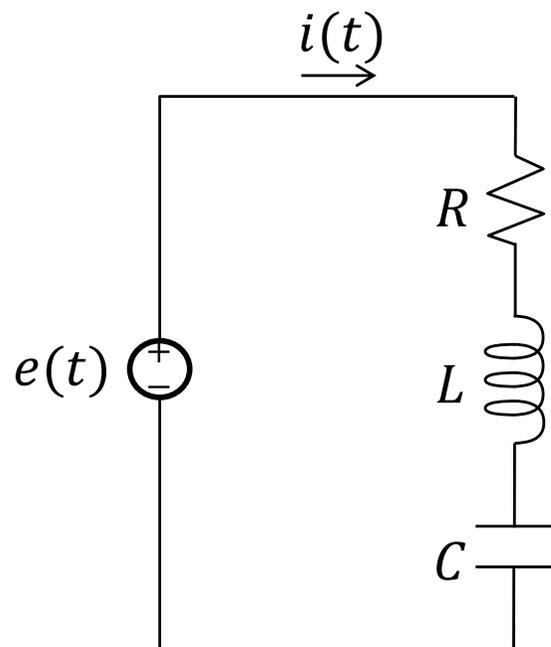
$5L/R = 0.5 \text{ [s]}$ で
ほぼ100%に

$L/R = 0.1 \text{ [s]}$ で
定常値の63%に

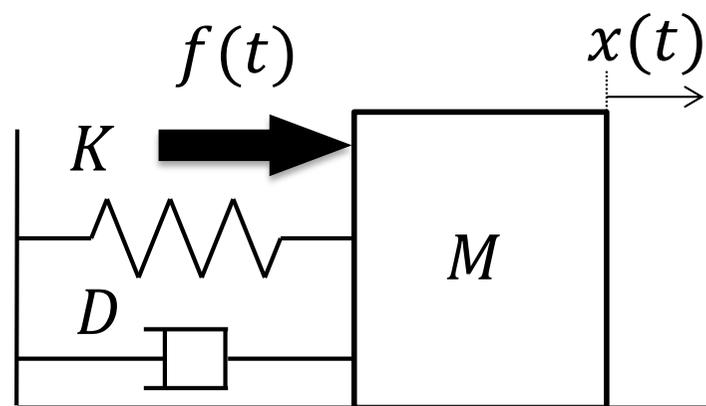


さらに機械系（振動）現象との双対性

電気系 (RLC直列回路)



機械系 (ばね・マス・ダンパ)



| | |
|-----|-----------------|
| e | 電圧 [V] |
| i | 電流 [A] |
| R | 抵抗 [Ω] |
| L | インダクタンス [H] |
| C | キャパシタンス [F] |

| | |
|-----|--------------------------|
| f | 力 [kgm/s^2] |
| x | 変位 [m] |
| M | 質量 [kg] |
| D | 粘性抵抗係数 [kg/s] |
| K | ばね係数 [kg/s^2] |

エネルギーも
対応するし！

交流回路の定常解析

□ 交流回路の解析を通じて学ぶべきエッセンス・スキル

- 正弦波の合成のスキル, 複素数・複素関数の計算スキル, 交流電圧・電流の複素ベクトル表示と回路解析への応用

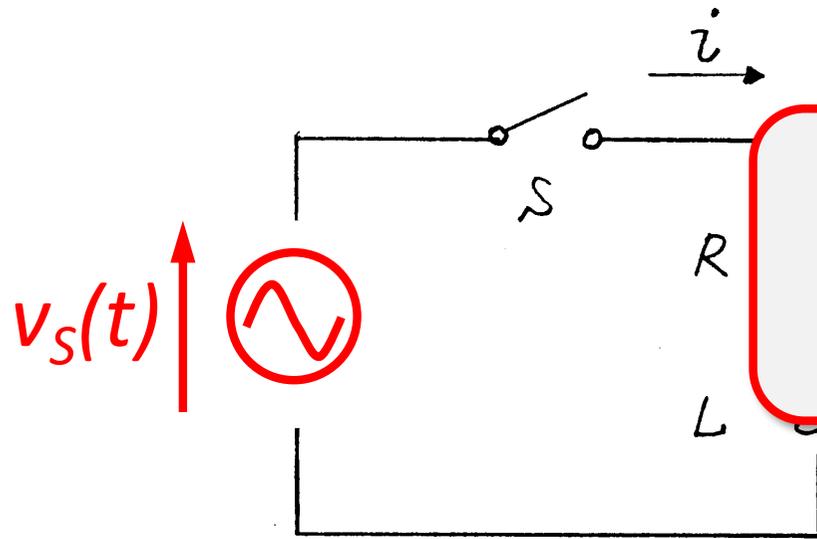
次ページ以降でデモを交えて“さわり”を

- 色々な交流回路の計算, 電力の扱いなどなど...
- 交流回路の定常解析を修得すれば, 運動(振動)現象も同じように解析・理解できる!

□ 電気回路 I では“フェーザ法”の基礎を学修して 交流回路定常解析のエッセンスを極める

交流回路の定常解析

交流電源に接続されたR-L直列回路

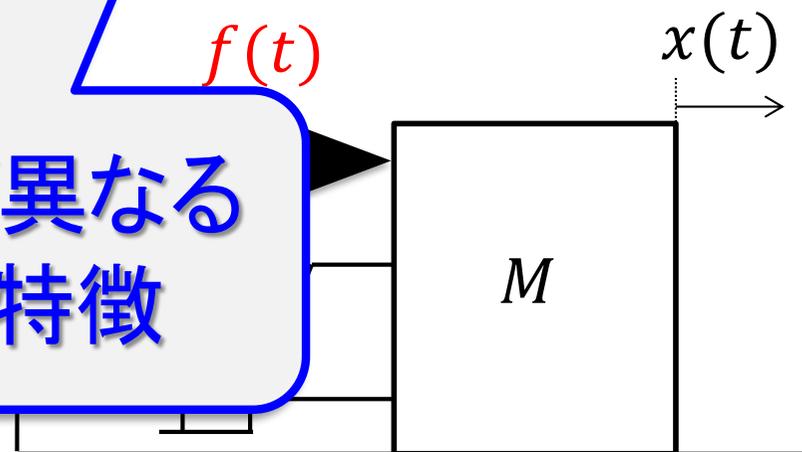


定常状態では $v_s(t)$ も $i(t)$ 共に
角周波数 ω の正弦波

$$v_s(t) = V \sin \omega t$$

$$f(t) = F \sin \omega t$$

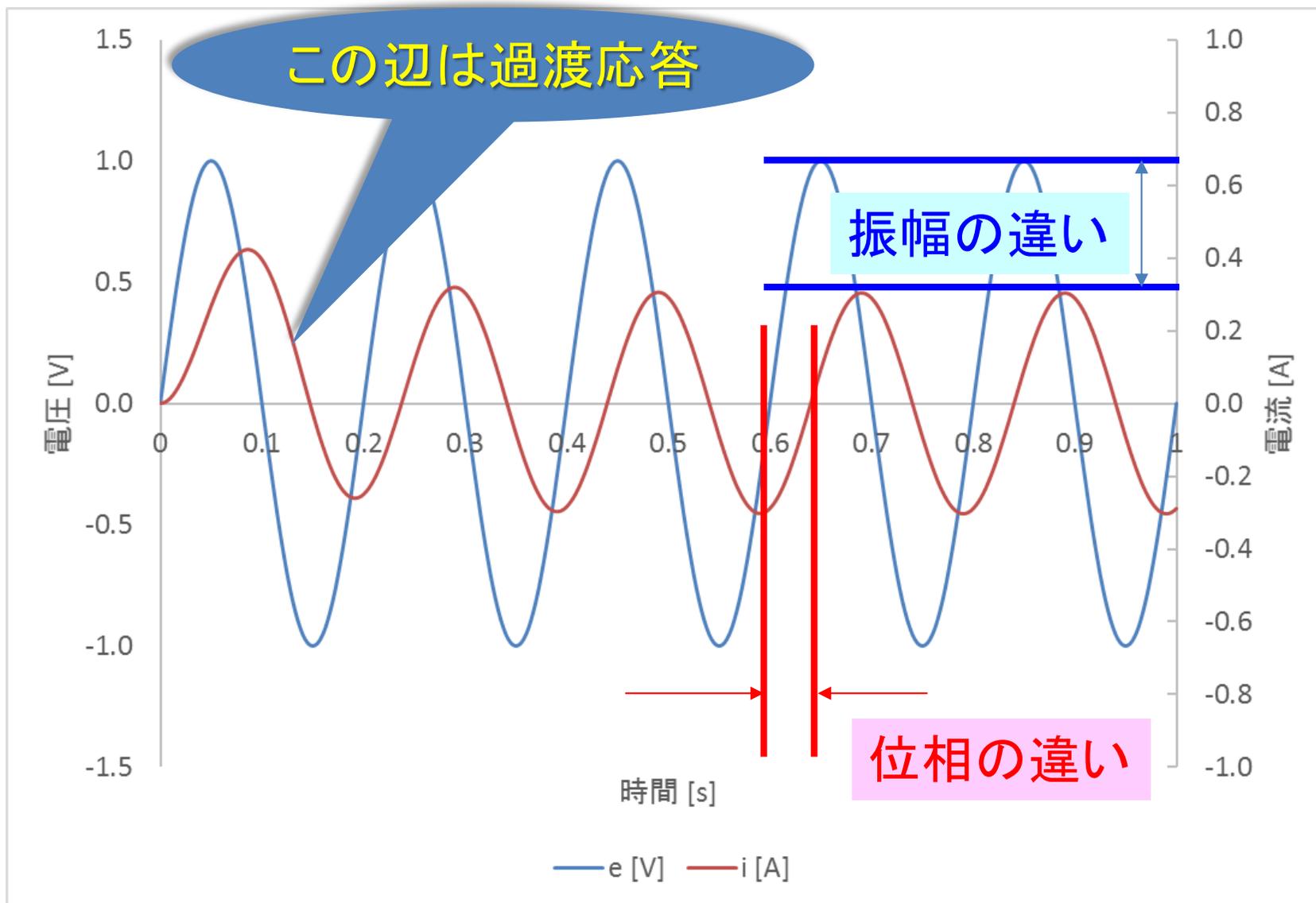
$v_s(t)$ と $i(t)$ は“振幅と位相”が異なる
→ 交流回路の定常値の特徴



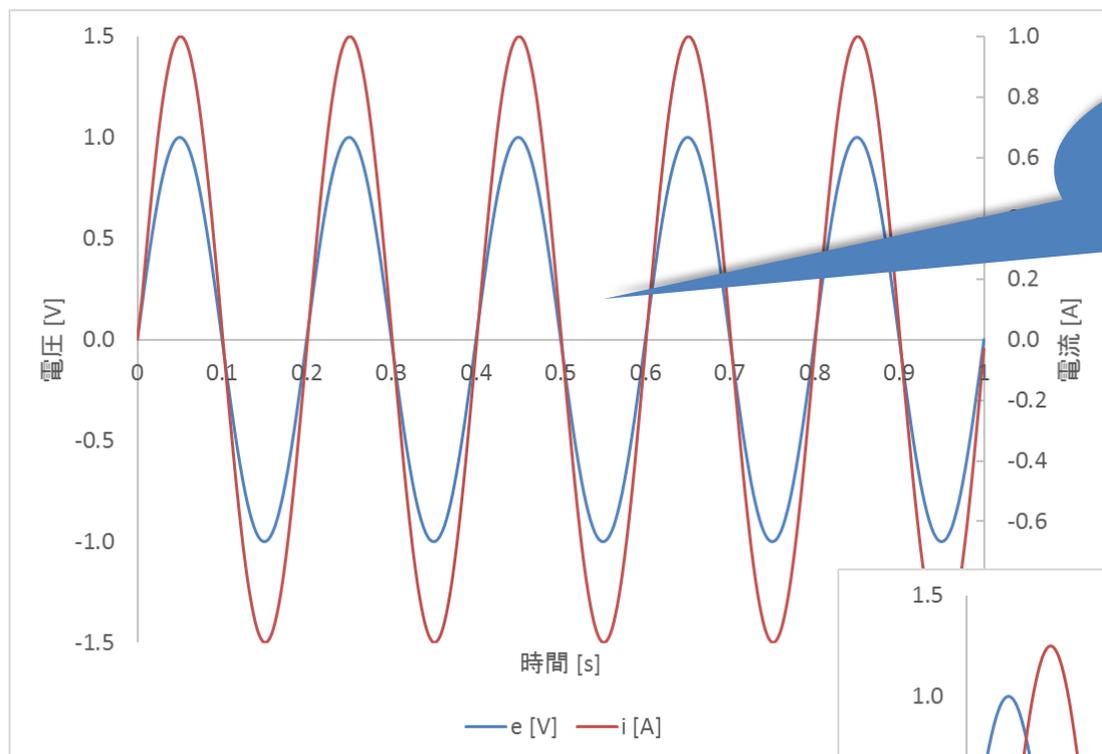
正弦波加振されたばね・マス・ダンパ系

交流回路の定常電圧・電流の特徴

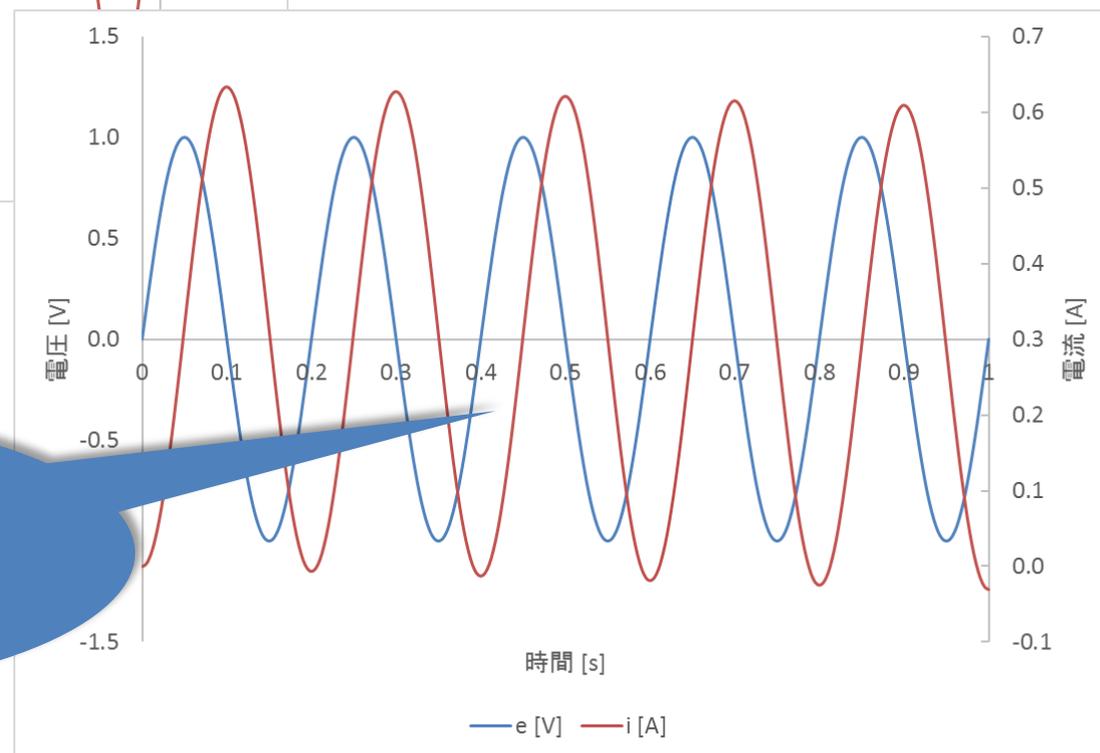
交流電源に接続されたR-L直列回路の電圧・電流波形の例



回路パラメータと振幅・位相の違い



殆ど R の回路
位相差 ほぼゼロ



殆ど L の回路
位相差 ほぼ90度

交流回路の定常状態の基礎...

交流電源に接続されたR-L直列回路

電源: $v_S(t) = V \sin \omega t$

1) $R=0$ とすれば...

$$i(t) = 1/L \int v_S(t) dt = -I_L \cos \omega t = I_L \sin(\omega t - \pi/2)$$

→ 位相は電圧に比べて90度遅れ

2) $L=0$ とすれば...

$$i(t) = v_S(t)/R = I_R \sin \omega t$$

→ 位相は電圧と同じ

この位相の現象は,

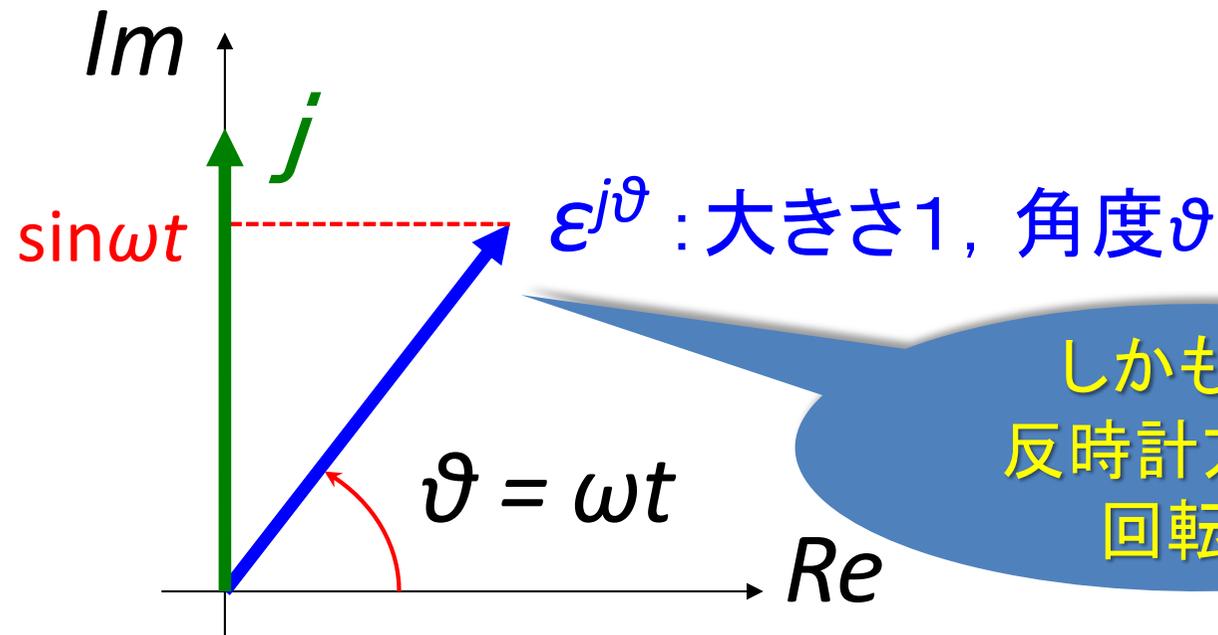
- ・電圧と電流が共に角周波数 ω の正弦波
- ・ L の両端の電圧は電流の微分に比例

だから～

複素数・複素ベクトルの登場

$$\text{オイラーの式} : e^{j\vartheta} = \cos\vartheta + j\sin\vartheta$$

$\vartheta = \omega t$ とすれば複素ベクトル $e^{j\vartheta}$ の虚数成分は $\sin\omega t$



$\vartheta = 0 \rightarrow e^{j0} = 1$, $\vartheta = \pi/2 \rightarrow e^{j\pi/2} = j$, $\vartheta = -\pi/2 \rightarrow e^{-j\pi/2} = -j$
→ 複素単位 “ j ” は大きさ1で位相90度の複素ベクトル
→ “ $-j$ ” は位相-90度の複素ベクトル

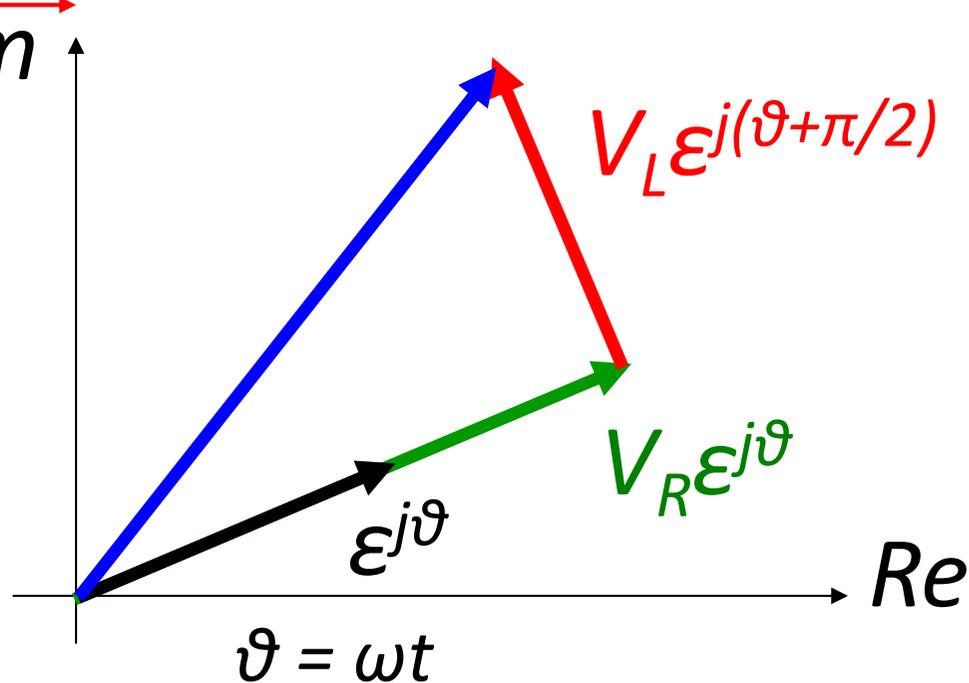
複素ベクトルと電気回路の解析

$$\text{オイラーの式} : \varepsilon^{j\vartheta} = \cos\vartheta + j\sin\vartheta$$

RL直列回路の各電圧の関係：

$$\begin{aligned} v_S(t) &= v_R(t) + v_L(t) = V_R \sin\omega t + V_L \cos\omega t \\ \longrightarrow &= \text{Im}\{V_R \varepsilon^{j\omega t}\} + \text{Im}\{V_L \varepsilon^{j(\omega t + \pi/2)}\} \\ &= \text{Im}\{V_R \varepsilon^{j\omega t} + V_L \varepsilon^{j(\omega t + \pi/2)}\} \end{aligned}$$

→ sinとcosの和が
複素ベクトルの
和で表現できている！



複素ベクトルと電気回路の解析

オイラーの式 : $\varepsilon^{j\vartheta} = \cos\vartheta + j\sin\vartheta$

電源電圧の方向 :

$$V_S = V_R + V_L$$

位相差は一定 :
 $\varphi = \tan^{-1}(V_L/V_R)$

電流の方向 :

$$V_R = R i$$

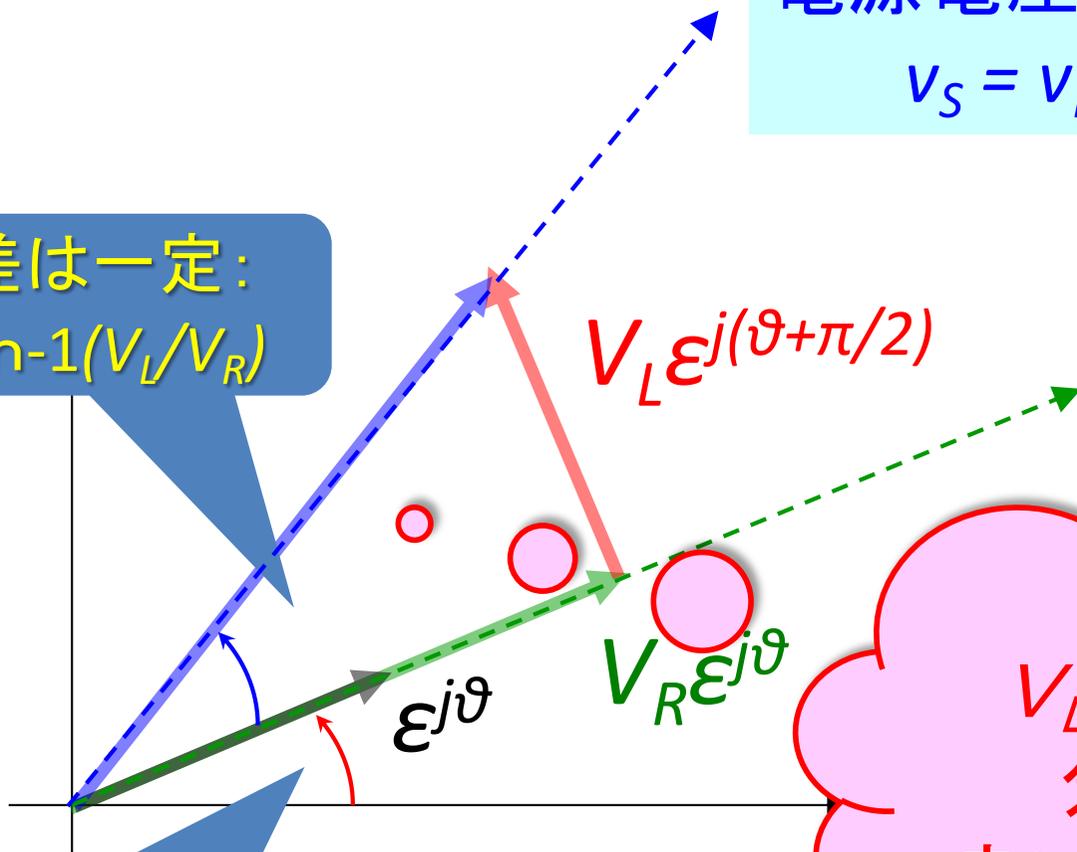
$$V_L \varepsilon^{j(\vartheta + \pi/2)}$$

$$V_R \varepsilon^{j\vartheta}$$

$$\varepsilon^{j\vartheta}$$

じゃあ
 V_L と V_R さえ
分かれば
良いんじゃない?

こちらは時間変化 : $\vartheta = \omega t$



複素ベクトルと電気回路の解析

電源: $v_S(t) = V \sin \omega t$

抵抗の両端: $v_R(t) = RI \sin(\omega t + \varphi)$

→ V_R は R 倍

コイルの両端: $v_L(t) = \omega LI \cos(\omega t + \varphi)$

→ V_L は ωL 倍

すると、電圧と電流の

振幅比は $\{R^2 + (\omega L)^2\}^{1/2}$ 倍か？

位相差は $\tan^{-1}(\omega L/R)$ か？

“フェーザ法”による解析手法に乞うご期待！

電気回路 I で何を学ぶか？ まとめ

「ラプラス変換」の基礎と直流回路の過渡現象を解く

- “微分方程式を解く”スキルをしっかりと修得する, 過渡現象から定常状態への振る舞いの本質を理解する
- 過渡応答を決定する“時定数”と回路パラメータの関係を把握する

「フェーザ法」による交流回路の定常状態を解く

- 複素ベクトルの性質の理解と計算スキルをしっかりと修得する, 時間関数である交流電圧・電流を複素ベクトルとして捉える概念を身に付ける
 - 機械系の振動現象の解析に繋がる
- “フェーザ法”は正弦波に対する定常解析が前提！