３章　岐阜高専におけるＡＬ関連個別事例集

岐阜高専で展開中のＡＬに関する事例集です。岐阜高専では全学年の教育課程科目へのＬＭＳ上の学修支援コンテンツ内容の拡充を推進してきました。現在はリテラシー活動や講演会参加なども含め、国際交流や教育課程科目以外へのＬＭＳの活用も推進されつつあります。

今年度も、前年度末のＡＰアンケートにて学生が好意的にとらえた授業を全クラス分可視化し、教職員のＦＤ・ＳＤとして、前期・後期の授業参観で活用しました。今年度の事例集は希望者からの事例紹介として、一般科・化学の上原教授と機械工学科の石丸教授からのＡＬ授業紹介、所からの電気回路系のコンテンツと福永先生からのコンテンツを紹介しています。所からのコンテンツは、プログラムと数学活用を意識した事例紹介として、ＩＣＴ活用により更に高度化した問題集として更新しました。是非一度、解いてみて下さい。福永先生からのものは授業での岐阜高専のＩＣＴ教育支援環境を用いたＡＬ活用授業や学修支援コンテンツの事例として紹介して頂いています。

なお、実践技術単位制度を含む学修成果の可視化関連は次章でまとめています。

３．総論：岐阜高専におけるＡＰ関係個別事例集

所　哲郎※1
TOKORO Tetsuro

1.　はじめに

岐阜高専では，平成26年度から教育AP事業（大学教育再生加速プログラム）に採択され，アクティブラーニング（AL）導入と学修成果の可視化という二つの課題に取り組んできた。この6年間で多くの教員からAL採用授業の紹介シートや、LMSの学修支援コンテンツの紹介を実施して頂き、全教員の参加する教員会議の前などにFD・SD活動として紹介して頂いた。

岐阜高専のAPの特色としてICT活用教育支援環境の活用を謳っているため、コンテンツ群の拡充や改良は年を追うごとに充実してきている。しかしながら高専機構による取り組みを含めて、うまく機能していないのは、「教育支援コンテンツの共有」である。

高専機構も平成26年度から全国高専での教材共有の検討を進めてきた。令和になってようやくコンテンツ群サーバの運用とコンテンツの公開が開始されたが、コンテンツ数は1000件を超えた程度で限られている。すなわち高専間での教材共有には根本的な問題が含まれていることになる。

2.　何が教材共有の問題となるのか

国内外の有名大学は出版事業も行っており、良質な教材を在学生に提供することができている。外部へも販売することで、大学の教育内容の質保証が可視化されているとも言える。筆者は自身の高専教育の集大成として、担当する電気系の主要科目である電気回路の教科書を編纂した[1)]。高専に関係する4名の教授による分担執筆により完成させた教科書である。高専で教えるべき、素晴らしい内容の教科書であると自負しているが、利用する学校は各著者の所属する数校に留まる。そのため、他の市販の教科書と比べてもページ数的には割高で、改定が困難な状況を打破できていない。

これがもし、高専機構全体で共有できる教科書となれば、年間数千冊の販売となり、単価の低下、改定頻度の向上、それに伴うコンテンツの充実などが可能となる。高専機構として、是非、モデルコアカリキュラムに準拠した教科書を作成し、全高専で活用して頂きたい。著作権を高専機構のものとすれば、永続的な内容改善が可能である。これで著作権問題と販売部数問題を一挙に解決できる。

3.　どんな教科書や教材を望んでいるのか

コンピュータの進歩やICT環境の改善に伴い、21世紀の技術者は既存の知識の蓄積だけではAIに取って代わられる存在になってしまうと考えられる。未知の問題を従前の知識を組み合わせ、推論し、解決できる素養が求められる。

その鍵となる素養の1つは数学力とプログラミング力であると思われる。そこで、先に述べた電気回路では、数学CADソフトを積極的に活用し、手計算やEXCELでは面倒な問題を、グラフで可視化し、数学的手順で可視化し、プログラミングで展開するなどの、多くの演習問題を含めている。問題の内容は電気回路であるが、機械系始め他分野の学修との連携も意識した内容となっている。

半年間かけて、上記教科書用の演習書を作成し、多くの市販の教科書を超えた、より深い電気回路の理解を促す問題集を作成した。しかも計算は数学ソフトを活用するので、ラプラス変換や畳み込み積分、微分方程式やクラーメルの公式、微分や積分を数式に対して指示するだけで、数値解もシンボリックな文字式解も得ることができる。

そうすると、低学年で習ったことを上級学年での学修に展開することが可能となり、数学的な取り扱いの便利さなどを実感できることになる。例えば直流過渡現象の畳み込みで、交流過渡現象を求める事ができ、交流定常解の理解が深まる。これらは19世紀末に全世界の科学者が交流現象の複素数での取り扱いを議論していたことと繋がっており、わずかに100数十年前の交流理論の成り立ちとも関係している[2)]。

4.　具体的に教材内容を示してみる

次ページから電気回路系の所の提案する教材を示している。ぜひ多くの教員に解いてみて貰いたい。数学CADソフトを用いないと、電気が専門の博士教員でも困難と思われる問題もいくつか示している。一方、解き方が分かれば、高専低学年でも簡単に解くことができる。所が作成した演習書は出版社的には発行できないとのことなので、本校図書館に１部印刷して寄贈することとした。いつか、高専機構として発行できれば幸いである。世の中にない、新しい演習書であると自負している。

電気情報工学科　教授　所　哲郎

1) 遠山和之・稲葉成基・長谷川勝・所　哲郎著、「電気回路」、理工図書、pp.1-242、2018.4.24.
2) 金原　粲監修、「電気回路」、実教出版、p.85.

アクティブラーニング授業の実践報告

科目名：化学 A	通年
実施授業の学年・学科：１年環境都市工学科	実施日：令和元年１２月１３日（金曜日）
実施時限：Ｉ限	教員名：上原敏之

アクティブラーニング授業のねらい：
・反応熱をテーマに，教科書や問題集の演習問題を通して，お互いに説明し合うことで各自の理解度をさらに深めて，知識の定着を図る。

アクティブラーニングに関して改善・工夫をしたこと（今回試みたこと）、今後改善したいと思っていること：
・グループ学習による演習の際に，白紙の A4 用紙を配布し，両面を３段に分けて解答させるようにした。これにより，どの問題に取り組んでいるか一目でわかるようになる。
・人に教えることで理解度が深まることから，２人のペアで交代に先生役となって，演習問題３問を１問ずつ各々計３回，お互いに説明し教え合うことを実施した。さらに，先生役の学生の A4 用紙に，聞き役の学生が署名と感想を書かせた。
・各自の名列番号を使っての類似問題作成は，２月末に実施する予定である。
・今回，スライドサイズを 4:3 から 16:9 に変更し，枠一杯を使うように改善した。これにより，見やすくなったと思われる。また，スライドの枚数を 1/4 削減し厳選した。これにより，１枚当たりの説明時間を増やすことができた。

対象クラスについて感じている学生の雰囲気、特徴（授業中の反応や当該科目に対する関心度合いなど）：
・通常の授業は，真面目に取り組み，静かでおとなしい雰囲気のクラスであるが，個々の反応はよく，双方向の授業が展開しやすい。

科目の特徴・特性(双方向の授業、反転授業の導入のしやすさ（しにくさ）、アクティビティの活用など)：
・身近な現象から導入できるため，通常の授業でも，双方向の授業が展開しやすい。
・基本的事項の確認は，教室外学修でも対応可能であるが，確認の意味で教科書の説明は必要である。

●アクティブラーニング授業実施の内訳

	時　間	分	学習内容	備　考 （■：説明 ○：学習活動☆：AL の山場 ※：チェックポイントの記号の記載と共に内容を記載する）	AL 個所に○印を記入する
導入	9:00～9:05	5 分	燃焼熱，生成熱，溶解熱の定義の確認	■教員が，学習の目的と手順を説明し，３つの反応熱について，教科書のどこに書かれているかを示す。	
展開	9:05～9:40	35 分	教科書の演習問題	○３問について，グループ学習により，全員の理解を目指す。	○
	9:50～10:28	40 分	問題集の演習問題	☆３問について，グループ学習により全員の理解を目指す。その後，２人ペアになり，交互に先生役として，１問ずつ解法を説明する。	○
まとめ	10:28～10:30	2 分	次回の予告	■類似問題を３題作成することを伝える。	

■　説明―講義で話す内容の概要
○　学習活動―どのような学習活動を取り入れるのか、注意事項など
☆　アクティブラーニング授業の山場（核となる部分）
※　チェックポイントーどうやろうか迷った箇所、これでうまくいくか不安に思った箇所

●アクティブラーニング授業の教材・関連の資料や様子の写真等

学習の目的	教科書　p.105　問１,２　20分	課　題
★いろいろな反応熱を熱化学方程式で表そう	1 例をよく読んで，自力で解く 2 分からないときは教えてもらう 3 教科書p.453を見て答え合わせをする	1 他の人に説明できるように計算式を書く 2 分からないときは教えてもらう 3 解答できたら隣同士で解法を説明し合う

●アクティブラーニング講義担当教員による授業後の考察：
・教員のねらいどおりに授業が展開できたか？
　例年通り，類似問題作成の手前で 90 分を要した。また，最後の課題である類似問題作成も例年通り，期末試験後の 15 回目の授業で行うことにした。これで時間的にもちょうど収まる。
・改善や工夫に対する学生の反応や気づいたこと
　化学で AL 授業は反応熱だけなので，学生にとっては新鮮であったようだ。
・その他気づいた点（例：○、※に対するコメント）
　毎年，前年度の反省を活かし改善してきたが，ようやく定着した観がある。

●アクティブラーニング担当教員によるファシリテーションスキルのチェックリスト（指導力のふり返り）
①～⑤の該当する箇所に○印を記入

スキル項目	評価基準		
	よい	ふつう	あまりよくない
①学びの場づくり	○		
②対人関係		○	
③構造化	○		
④合意形成		○	
⑤情報共有化		○	

アクティブラーニング授業の実践報告

科目名： エネルギーと環境	後期
実施授業の学年・学科： 5年 機械工学科	実施日：令和元年 11 月、12 月、令和２年１月（計８回授業）
実施時限： Ⅱ 限	教員名： 石丸 和博

アクティブラーニング授業のねらい：これまでの高専４年半での学習をベースに、現在、世界で行われているエネルギーの発生方法（発電方法を含む）とこれに関わる環境問題をテーマとして教員側から提示し、グループを作って授業時間外にその方法について調べ、発表する。今年度は、火力・原子力エネルギー、水力・風力エネルギー、海洋・バイオマス・廃棄物エネルギー、太陽・地熱・氷雪熱エネルギー、燃料電池・一次・二次電池の５つのテーマを設定、５グループを構成し、教員側から一方的に教えるのではなく調べてきた学生が他の学生に教えることで、教員のコメントを交えながらより深く理解する。教員側からも質問し、次回までに調査すべき課題を与える。

アクティブラーニングに関して改善・工夫をしたこと（今回試みたこと）、今後改善したいと思っていること：

① グループ分けは原則卒業研究室が同じ学生同士とし、時間外学習を行い易くした。
② 発表回数は１グループ（１テーマ）につき、４回発表する。（４回目はまとめ的な内容とする）
③ その場で答えられる質問については、その場で答える。
④ 質問時間内に質問できなかったこと、思いつかなかったことは後に設けられた時間に、質問票記載して質問する。（わかりやすい発表であったか等の授業状況に対する評価も含める。）
⑤ 質問票は教員によってすぐに LMS(Moodle)に上げ、発表グループの学生がこれをみられるようにする。この際、質問者の名前は伏せる。(これは発表グループ以外の学生も見ることができる)
⑥ 質問票に記載された質問は次の発表機会に必ず説明する。

対象クラスについて感じている学生の雰囲気、特徴（授業中の反応や当該科目に対する関心度合いなど）：

この授業は選択科目であり、クラスの半数近くの 20 名が受講している。事前にこの授業の形式を説明していていたこともあり、真面目に取り組む学生がほとんどである。発言するということに少し抵抗がある（恥ずかしいと思っている）学生も多く、教員側から当てるというきっかけを与えないと質問は出にくい。しかし、質問する雰囲気（流れ）ができれば自発的に多くの質問が出ることもある。

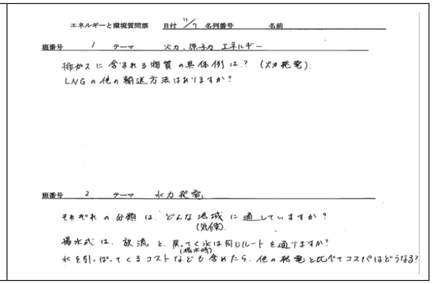
科目の特徴・特性(双方向の授業、反転授業の導入のしやすさ（しにくさ）、アクティビティの活用など)：

学生が教える（発表）というタイプの授業であり、そのために入念な事前調査が必要である。また、調査しきれていない部分、さらには発表の状況（分かりやすさ等）を他学生から指摘を受けることで、調査及び発表の仕方の不十分さを自覚することができる。

●アクティブラーニング授業実施の内訳

	時 間	分	学習内容	備 考（■:説明 ○:学習活動☆:AL の山場 ※:チェックポイントの記号の記載と共に内容を記載する）	AL 個所に○印を記入する
導入	10:40～10:45	5分	教員による今日の発表の簡単な紹介	■:説明 課題説明	
展開	10:45～11:00	15分	調査発表（１テーマ目）	☆グループ全員が登壇し、パワーポイントと使って説明。	○
	11:00～11:10	10分	学生および教員からの質問	☆原則挙手による質問。書ける範囲内で質問票も作成する。発表に関し、質問に答えられなければ次回の発表までの宿題とするが、自らの知識の範囲内で自分の考えを述べる。	○
	11:10～11:25	15分	調査発表（２テーマ目）	☆1 テーマ目に同じ	○
	11:25～11:35	10分	学生および教員からの質問	☆1 テーマ目に同じ	○
	11:35～11:50	15分	調査発表（３テーマ目）	☆1 テーマ目に同じ	○
	11:50～12:00	10分	学生および教員からの質問	☆1 テーマ目に同じ	○
まとめ	12:00～12:10	10分	質問票の作成（各発表途中に書くことができなかった分や後から気が付いたこと）	○:発表された内容に関し、質問を考えることで、発表内容の理解をより深める。作成された質問票は教員によってすぐに LMS に上げ、学生はこれを確認する。	

●アクティブラーニング授業の教材・関連の資料や様子の写真等


エネルギーと環境質問票 日付 11/7 名列番号 名前
班番号 1 テーマ 火力、原子力 エネルギー
排ガスに含まれる物質の具体例は？（火力発電）
LNG の他の輸送方法はありますか？
班番号 2 テーマ 水力発電
それぞれの分類は、どんな地域（気候）に適していますか？
揚水式は、放流と、戻ってく水（揚水時）は同じルートを通りますか？
水を引っぱってくるコストなども含めたら、他の発電と比べてコスパはどうなる？

●アクティブラーニング講義担当教員による授業後の考察：自ら調べ、これを他の人に分かりやすく説明、そして多くの質問やコメントを受けることで、ただ調べて発表しただけでなく、 深い知識を得ることができた。ただし、発表の仕方（パワーポイントの作り方も含む）に関し、経験的なこともあり適切でないところも多く、その指導も同時にできるとより充実していたと思われる。

・教員のねらいどおりに授業が展開できたか？	他人の意見を聞きながら、自ら学ぶ姿勢を身に着けることに関し達成できた
・改善や工夫に対する学生の反応や気づいたこと	クラスの雰囲気は重要である（意見の言いやすさ等）
・その他気づいた点（例：○、※に対するコメント）	発表の仕方に適切でない点があった

●アクティブラーニング担当教員によるファシリテーションスキルのチェックリスト（指導力のふり返り）

①～⑤の該当する箇所に○印を記入

スキル項目	評価基準 よい	ふつう	あまりよくない
①学びの場づくり	○		
②対人関係		○	
③構造化		○	
④合意形成		○	
⑤情報共有化	○		

数学ソフトと連携した電気回路の学修支援コンテンツの開発(2)

所　哲郎※1
Tetsuro TOKORO

1.　はじめに

本校では、高専機構によるモデルコアカリキュラム（MCC）対応に向けて、平成29年度入学生から全学科の教育課程表が大幅に更新された[1]。新カリキュラムでは、電気情報工学科の第2．第3学年の電気回路Ⅰ、第4学年半期の電気回路Ⅱ（三相交流・回転磁界等）は継続されたが、第4学年通年の情報伝送工学は廃止となった。

これらに伴い、合計5コマで半期15回の授業がそれぞれ実施される。教科書は電気学会監修の「基礎からの交流理論[2]」と「回路網理論[3]」から、理工図書の実践的技術者のための電気電子系教科書シリーズ、「電気回路[4]」へ変更となった。この新しい教科書は。電気電子系での採用を基本としているが、全ての工学系コース学生に役立つ様に、高専教員と大学教員により入念に編纂されたものである。

本稿ではAPによるICT活用教育支援資産の集大成として、コンピュータやプログラミングを活用しないと解けない（非常に計算が複雑となる）電気回路の問題例を可視化する。上記教科書と連動し発展させた内容となっている。ぜひ以下の問題に挑戦して戴き、知見をお知らせ頂ければ幸いである。

2. 第１章直流回路の基礎

電気回路の直流定常状態はオームの法則(V=IR)で、高専入学前に既に理解しているものと思われる。高専１年生の電気製図でも説明しているが、電気回路では線形・時不変・因果性・重ね合わせの理などの概念を加えつつ、学年を追って説明していく。

新しい教科書では、高専２年生から「電気回路」の学修が始まることを前提に、直列と並列、電圧源と電流源、ブリッジ回路などを学ぶ。最大電力問題などでも微分を用いない解答方法から教授している。2 次関数のグラフなどを活用して解説している。

Q1-1 : 抵抗を R[Ω]、その逆数であるコンダクタンスを G[S]とする。全て整数で 10 個の素子 R=1,2..10、G:1,2..10 について、全て直列、全て並列に繋いだ場合の抵抗を求めよ。

$$\sum_{R=1}^{10} R = 55 \qquad \sum_{G=1}^{10} \frac{1}{G} = 2.929 \qquad \left(\sum_{R=1}^{10} \frac{1}{R}\right)^{-1} = 0.341 \qquad \left(\sum_{G=1}^{10} G\right)^{-1} = 0.018$$

Q1-2 : 抵抗 1[Ω]が横・縦・横・縦と 10 個はしご形に接続されている。合成抵抗を求めよ。

$$1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1+\cfrac{1}{1}}}}}}}}} \rightarrow \frac{89}{55}$$

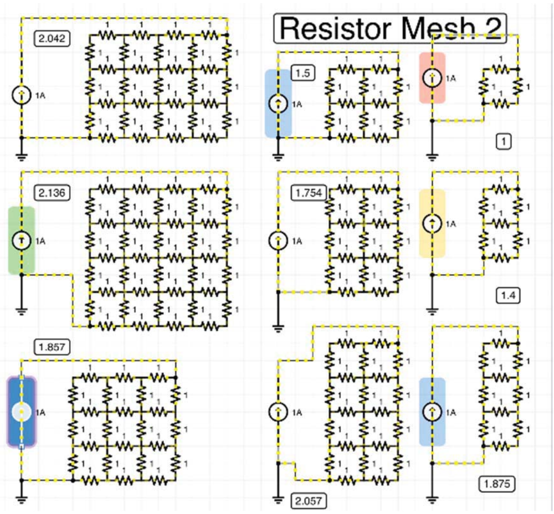
Q1-3 : **発展問題** : 抵抗 1[Ω]の横・縦が 10 組はしご形に接続されている。合成抵抗を求めよ。∞段の場合は？

$$R:=\begin{bmatrix}1 & 1\\0 & 1\end{bmatrix} \quad G:=\begin{bmatrix}1 & 0\\1 & 1\end{bmatrix} \quad F:=(R\cdot G)^{10} \quad Z:=\frac{F_{0,0}}{F_{1,0}} \rightarrow \frac{10946}{6765} = 1.618$$

$$Z = 1 + \frac{1\cdot Z}{1+Z} \xrightarrow[solve,Z]{assume,Z>0} \frac{\sqrt{5}}{2} + \frac{1}{2} = 1.618$$

Q1-4 : 抵抗 1[Ω]を 4 個で正方形に接続した。対角抵抗を求めよ。次に正方形が 2×2、3×3、4×4、5×5 平面的に拡張された時の対角抵抗を求めよ。2×2 までは簡単であるが 3×3 以降は電位の対称性に注意が必要である。

1、3/2、13/7、47/22、1171/495



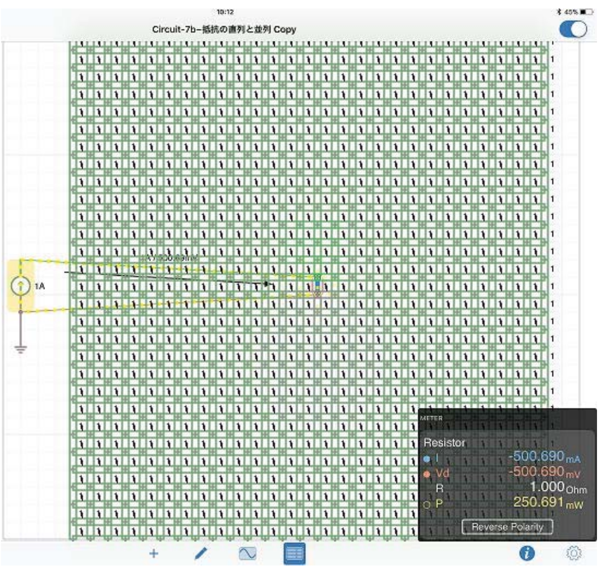
Q1-5 : **発展問題** : 抵抗 1[Ω]を 4 個で正方形に接続した形が 1×2、1×3、2×3、2×4 と平面的に拡張された時の対角抵抗を求めよ。2×3 問題は、東京大学、大崎博之博士による「電気回路理論[5]」にもある問題である。

コンピュータの力を借りればループ法で 2 年生でも簡単に解くことができる。

7/5、15/8、121/69、430/209

Q1-6 : **発展問題** : 抵抗 1[Ω]を縦横無限大に網目状に接続した、1 個の抵抗の両端の合成抵抗を求めよ。この問題が桂馬飛び位置の両端の場合は？後者は Google の入社試験問題と言うことである。

1/2、 $\frac{4}{\pi}-\frac{1}{2}=0.773$



因みに原点と、原点から x,y の離散位置にある点までの合成抵抗 R(x,y)は、Mathcad で計算すると下記となる。

$$R(1,0) \rightarrow \frac{1}{2}$$

$$R(1,1) \rightarrow \frac{2}{\pi}=0.637$$

$$R(2,1) \xrightarrow{expand} \frac{4}{\pi}-\frac{1}{2}=0.773$$

$$R(2,0) \xrightarrow{expand} 2-\frac{4}{\pi}=0.727$$

$$R(3,0) \xrightarrow{expand} \frac{17}{2}-\frac{24}{\pi}=0.861$$

$$R(3,1) \xrightarrow{expand} \frac{46}{3\cdot\pi}-4=0.881$$

$$R(2,2) \xrightarrow{expand} \frac{8}{3\cdot\pi}=0.849$$

$$R(3,3) \xrightarrow{expand} \frac{46}{15\cdot\pi}=0.976$$

$$R(4,0) \xrightarrow{expand} 40-\frac{368}{3\cdot\pi}=0.954$$

3. 第 2 章交流回路の基礎

電気回路の交流定常状態は複素数を利用して、インピーダンスのオームの法則(V=IZ)で、第 1 章と同様に解くことができる。これに正弦波交流波形の実効値と平均値の理解が加われば良いが、正弦波の波高値と実効値の取り扱いを混同しやすい。ひずみ波交流のフーリエ級数展開時にこの理解が問われることになる。

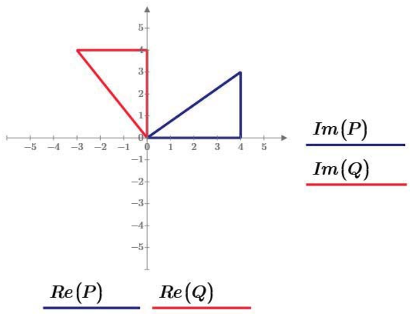
Q2-1：振幅 1 の方形波と正弦波と三角波、および、それらの半波整流波形の、実効値と平均値をそれぞれ求めよ。

電気回路 2 章 AL-1 の表 2-4 参照。

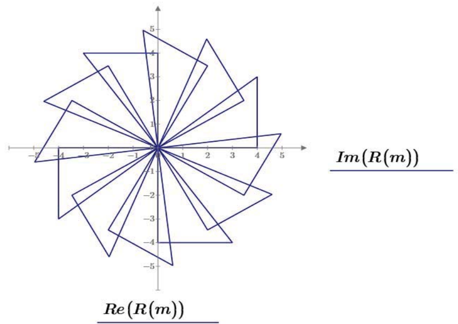
Q2-2：振幅 1 の方形波と正弦波と三角波およびそれらの半波整流波形を Mathcad などの数学ソフトでグラフ表現し、その実効値と平均値を積分で求めよ。この問題が解ければ、作図と積分等の演算がマスターできたことになる。半波整流波形をどの様に数学的に表現し、コンピュータに入力するかが鍵となる。

略

Q2-3：4+j3 などの複素数ベクトルに j を掛けることは 90 度反時計方向に回転することになる。この事を Mathcad などの数学ソフトでグラフ表現し可視化せよ。



Q2-4 : **発展問題** : 4+j3 などの複素数ベクトルに exp(j θ) を掛けることは θ 反時計方向に回転することになる。この事を Mathcad などの数学ソフトでグラフ表現し可視化せよ。下図では 30 度ごとに 12 等分して回転している。



4. 第３章交流回路

電気回路の交流定常状態は複素インピーダンスの Mathcad などの数学ソフトでの取り扱いとなる。従って各種定理や円線図など、色々可視化が問題化されている。共振や反共振の周波数特性など、図的な可視化が可能である。また、ループ法と接続点法、テブナンの定理とノートンの定理など双対性のある概念を数学的にまとめて理解すると良い。

Q3-1 : 下記は 1 章の最大電力供給定理の Mathcad による解法であるが、この程度までであるとノートに書くのと同じ様な手間であり、数学ソフト活用やプログラム活用のメリットは可視化できていない。偏微分を使って、簡潔に解け。回路素子が正であることを明示する必要がある。従って、数学ソフトを用いて電気回路を解くことで、単位の整合性や必要・十分条件の理解など、より科目の理解が深まることとなる。

$$P(R):=\frac{E^2\cdot R}{R^2+2\cdot R\cdot r+r^2}=\frac{E^2}{R+2\cdot r+r^2\cdot\frac{1}{R}}=\frac{E^2}{R-2\cdot r+r^2\cdot\frac{1}{R}+4\cdot r}=\frac{E^2}{\left(\sqrt{R}-\frac{r}{\sqrt{R}}\right)^2+4\cdot r}$$

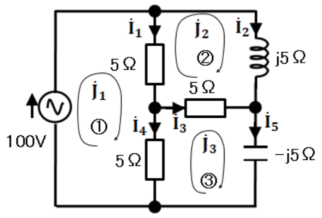
分母が最小が最大電力となるので、下記の第一項が 0 が条件

$$\left(\sqrt{R}-\frac{r}{\sqrt{R}}\right)^2+4\cdot r \qquad \sqrt{R}-\frac{r}{\sqrt{R}}=0\xrightarrow[\substack{solve, R\\ assume, R\geq 0}]{assume, r>0} r$$

$$P_{max}(R)=\frac{E^2}{4\cdot r}=\frac{E^2}{4\cdot R}$$

$$\frac{d}{dR}P(R)=0\xrightarrow[]{\substack{assume, ALL>0\\ solve, R}} r$$

Q3-2 : 電気回路 3 章、例題 3.9。2 章のループ法で解いた問題の別解を Δ-Y 変換を用いて解いている。接続点法でも解いてみよ。



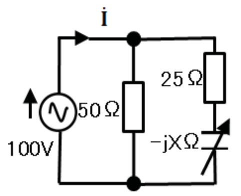
$$E:=\begin{bmatrix}100\\0\\0\end{bmatrix}\qquad Z:=\begin{bmatrix}10 & -5 & -5\\ -5 & 10+5j & -5\\ -5 & -5 & 10-5j\end{bmatrix}$$

$$I:=\mathrm{lsolve}(Z,E)=\begin{bmatrix}40\\30-10i\\30+10i\end{bmatrix}$$

$$Y:=\begin{bmatrix}\frac{1}{5}+\frac{1}{5}+\frac{1}{5} & \frac{-1}{5}\\ \frac{-1}{5} & \frac{1}{1j\cdot 5}+\frac{1}{5}+\frac{1}{-1j\cdot 5}\end{bmatrix}\qquad I:=\begin{bmatrix}\frac{100}{5}\\ \frac{100}{5j}\end{bmatrix}$$

$$V:=\mathrm{lsolve}(Y,I)\xrightarrow{simplify}\begin{bmatrix}50-50i\\50-150i\end{bmatrix}$$

Q3-3 : 電気回路 3 章、例題 3.11。図の回路で容量リアクタンス X を変化させたとき、電源電圧と全電流の位相差が最大になるときの X 及びその時の電流をフェーザ表示で求めよ。円線図の理解を促している。Mathcad では作図のトレーニングとなる。



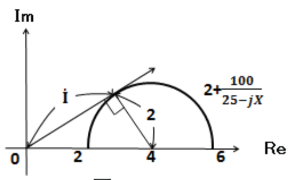
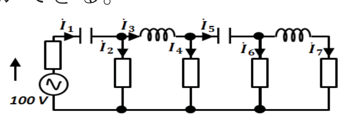


図3-36

$X:=25\cdot\sqrt{3}$ 、 $\dot{I}=2\sqrt{3}\angle 30°$

Q3-4 : 電気回路 3 章、AL-2 は古典的な良問である。各素子を流れる電流を複素数の直交座標表示で求めよ。ただし、抵抗、誘導リアクタンス、容量リアクタンスの大きさはすべて 1[Ω]とする。

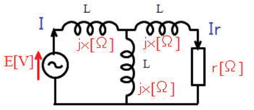
この問題は、予め終端電流を仮定し、電源側まで解くことにより、線形性を用いて回帰することにより解くことができる。しかしながらそのようなテクニックをマスターしていなくても、Q1-2 の表現や、ループ法を機械的に適用することで、数学ソフトを使えば簡単に解くことができる。以上の様に同じ問題を色々な手法で解くことが可能で有り、電気回路の理解を深める事ができる。



$\dot{I}_1=\frac{100}{11}(6+j3)$ 、 $\dot{I}_7=\frac{100}{11}$

5. 第４章交流電力

Q4-1：電気回路 4 章では交流電力について学ぶ。下記は電気学会「交流理論」にある古典的な良問である。本校の専攻科標準入試問題としても長らく例示されてきた。負荷電流の大きさの二乗*r の最大値を、微分を利用して解くことになる。負荷が、複素共役にできない場合の最大電力伝達定理を利用すれば、一瞬で解くことが可能である。その方法を示せ。



$$I=\frac{E}{jX+\dfrac{jX(r+jX)}{jX+(r+jX)}}$$

$$Ir=I\frac{jX}{jX+(r+jX)}$$

$$=\frac{jXE}{jX(r+j2X)+jX(r+jX)}$$

$$=\frac{E}{2r+j3X}$$

$$\therefore P=Ir^2r$$

$$=\frac{E^2r}{4r^2+9X^2}$$

$$\frac{\partial P}{\partial r}=\frac{E^2\{(4r^2+9X^2)-r8r\}}{(4r^2+9X^2)^2}=0$$

$$9X^2=4r^2$$

$$r^2=\frac{9}{4}X^2$$

$$r=\frac{3}{2}X$$

$$P\max=\frac{E^2r}{4r^2+9X^2}$$

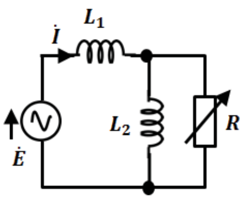
$$\frac{E^2\frac{3}{2}X}{4\frac{9}{4}X^2+9X^2}$$

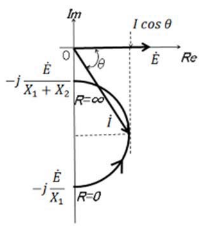
$$=\frac{E^2}{12X}[W]$$

負荷から見た電源側インピーダンスの大きさ=r

Mathcad では $\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}r}P(r)=0\xrightarrow[]{assume,ALL>0 \; solve,r}\frac{3\cdot x}{2}$ となる。

Q4-2 : 電気回路 4 章、例題 4.5。下図の回路で抵抗 R を変化させたときの、回路の最大電力を求めよ。また、電流の最大値、最小値、最大力率、最大電力時の力率を求めよ。





$$I=\frac{E}{\sqrt{2}\omega L_1}$$

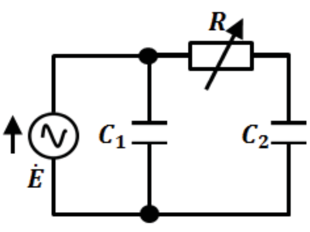
$$I(R):=\frac{E}{1\mathrm{i}\cdot X_1+\dfrac{R\cdot 1\mathrm{i}\cdot X_2}{R+1\mathrm{i}\cdot X_2}}\xrightarrow{simplify}\frac{E\cdot(X_2-R\cdot 1\mathrm{i})}{X_1\cdot R+X_2\cdot R+X_1\cdot X_2\cdot 1\mathrm{i}}$$

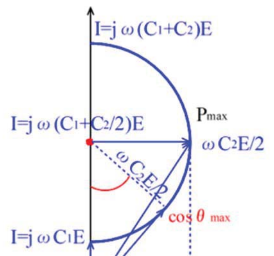
$$P_{max}:=\mathrm{Re}\left(E\cdot\overline{I\left(\frac{X_1\cdot X_2}{X_1+X_2}\right)}\right)\xrightarrow{assume,ALL>0 \; simplify}\frac{X_2\cdot E^2}{2\cdot X_1\cdot(X_1+X_2)}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}R}P=0\xrightarrow{assume,ALL>0 \; solve,R}\frac{\omega\cdot L_1\cdot L_2}{L_1+L_2}$$

他、図より。

Q4-3 : 電気回路 4 章、章末問題 4.9。下図の回路で抵抗 R を変化させたときの、回路電流の最大値と最大力率を求めよ。

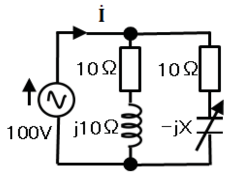


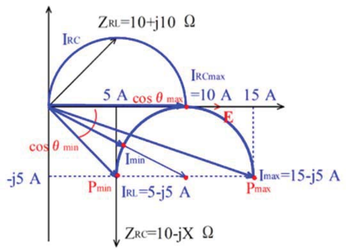


$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}R}P(R)=0\xrightarrow{assume,ALL>0 \; solve,R}\frac{1}{\omega\cdot C_2},\; P\left(\frac{1}{\omega\cdot C_2}\right)\xrightarrow{assume,ALL>0 \; simplify}\frac{\omega\cdot C_2\cdot E^2}{2}$$

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}R}cos\theta(R)=0\xrightarrow{assume,ALL>0 \; solve,R \; combine}\frac{\sqrt{\dfrac{C_1+C_2}{C_1}}}{\omega\cdot C_2},\; cos\theta\left(\frac{\sqrt{C_1+C_2}}{\omega\cdot\sqrt{C_1}\cdot C_2}\right)\xrightarrow{assume,ALL>0 \; simplify}\frac{C_2}{2\cdot C_1+C_2}$$

Q4-4：電気回路 4 章、AL-3。下図の回路で、回路の最大電力、電流の最大値、最小値、最大力率、最大電力時の力率を求めよ。

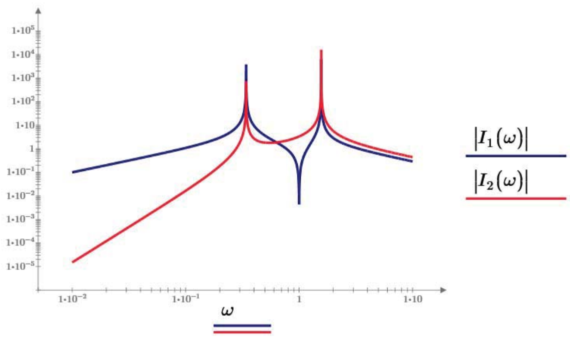




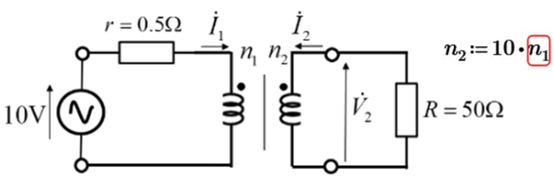
円線図参照

6. 第５章相互インダクタンスと変成器

Q5-1：電気回路 5 章、AL-2。双峰曲線を計算せよ。



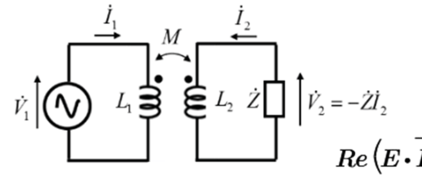
Q5-2 : 電気回路 5 章、確認問題 5.6。負荷に最大電力を供給したい。一次と二次を整合し各部の電力を求めよ。



一次 50W,　二次 50W,　電源は 100W。

Q5-3 : 電気回路 5 章、AL-2。問題 5 において、(5.16)式を参考にして、電源から見た消費電力は $I_1{}^2\times$ (二次側抵抗 R の一次側換算抵抗値)であり、これは二次側での

消費電力 I_2^2Rとも等しいはずである。これらを文字式で求めた後、数値を代入して確認せよ。また、電源の供給する電力とも比較せよ。

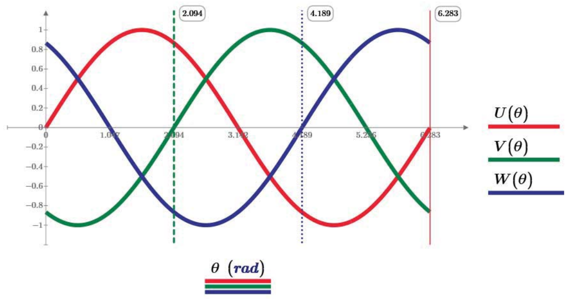


$$Re\left(E\cdot\overline{I}\right)=699.5$$

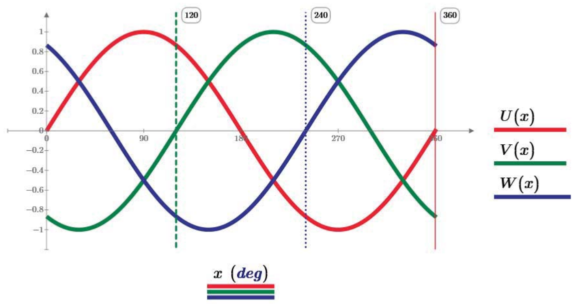
$$|6.995-16.58i|^2\cdot\frac{6^2}{6^2+8^2}\cdot 6=699.5 \quad |-9.326+5.44i|^2\cdot 6=699.4$$

7. 第６章三相交流

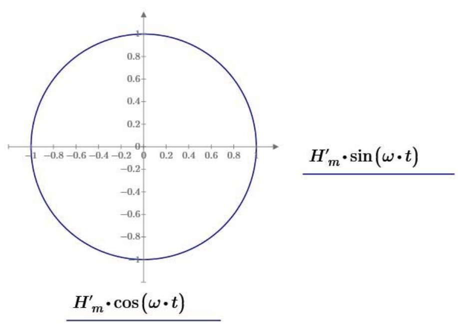
Q6-1 : 電気回路 6 章は三相交流である。横軸を rad で、三相交流をグラフ化せよ。



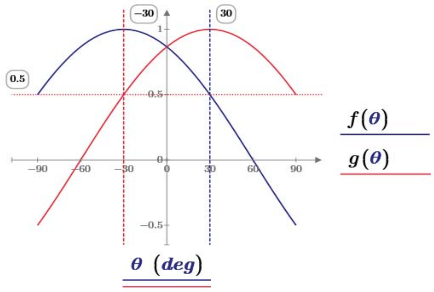
Q6-2 : 横軸を deg で、三相交流をグラフ化せよ。



Q6-3 : 電気回路 6 章、確認問題 6.12 の回転磁界のグラフを示せ。



Q6-4 : 電気回路 6 章、章末問題 6.6 のグラフを示せ。



Q6-5 : 電気回路 6 章、AL-3 の対象座標法の計算を示せ。

$$Z:=\begin{bmatrix}4.5\\3.25\\4.5\end{bmatrix} \qquad a:=e^{\frac{1i\cdot 2\cdot\pi}{3}}\rightarrow -\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{3}\cdot 1i}{2}$$

$$\begin{bmatrix}Z_{a0}\\Z_{a1}\\Z_{a2}\end{bmatrix}:=\frac{1}{3}\cdot\begin{bmatrix}1&1&1\\1&a&a^2\\1&a^2&a\end{bmatrix}\cdot Z=\begin{bmatrix}4.083\\0.208-0.361i\\0.208+0.361i\end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix}Z_{a0}&Z_{a2}&Z_{a1}\\Z_{a1}&Z_{a0}&Z_{a2}\\Z_{a2}&Z_{a1}&Z_{a0}\end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}I_{a0}\\I_{a1}\\I_{a2}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}-V_N\\100\\0\end{bmatrix}\xrightarrow[float,3]{substitute,I_{a0}=0 \;\; solve,V_N,I_{a1},I_{a2}}[-5.68-9.84i \;\; 24.7 \;\; -1.26+2.19i]$$

8. おわりに

電気系の学科で電気回路の学修を行うための新しい教科書を作成した。5 年ほど前からの高専機構によるMCC の確定などを鑑み、高専教員が主体となって作成中の理工図書による「実践的技術者のための電気電子系教科書シリーズ」のひとつである。平成 26 年度からの文部科学省による AP 公募事業を鑑みて、アクティブラーニング課題として各章にチャレンジ的な AL 課題を適宜紹介している。

この教科書は高専第 2 学年からの利用を想定しているため、電気系学科以外での電気回路の学修や大学学部での学修にも十分に耐えられる内容となっている。特に、同じ問題を色々な方法で解ける様に順を追って解説してあり、新しく学ぶ章の意味合い（メリット）を可視化できる様に工夫している。また、極めて丁寧な解説から始まっているが、第 4 章から第 8 章は、多くの電気回路教科書の中から厳選した課題を創意工夫の有る例題や問題、章末問題として展開している [5)-8)]。

簡単すぎること無く、難しすぎること無く、絶妙なバランス設定を行っている。また、EXCEL はもちろんiCircuit や Mathcad 等の最新の ICT 活用教育環境や数学ソフトを活用することを推奨した問題も多く設定されている。例えば円線図の問題やフーリエ解析の問題、過渡現象の問題などは、他の教科書には無い電気回路の良問であると自負している。

本稿では第 1-8 章の内、第 6 章までのごく一部を紹介した。第 7 章のひずみ波と第 8 章の過渡現象は、最

近の教科書[4)-8)]ではもちろん、IoT や自然エネルギーの活用などを考えると、より詳細な学修が必要となる総合的な数学と電気回路との融合が要求される学修項目である。これらに対しては、別稿を作成した。

Mathcad などの数学 CAD ソフトウェアを積極的に活用することで、与えられた問題を教えられた手順で解くことまでに留まっていた学修から、問題を発展させ、今までに学修した色々な回路解析手法で問題を解いてみるという段階に進むことができる。自身でたてた回路解法の仮説を確認し新しい知見を得るなど、発展的な学修形態へとステップアップすることが可能となる。この様な戦略を込めて新教科書を作成した。これらが AP による ICT 活用教育の醍醐味である。

※1：岐阜高専電気情報工学科(教授)

参考文献等

1) 平成 29 年度からの新教育課程表
http://www.gifu-nct.ac.jp/syllabus/BrowsingPage/T/Tindex.html
2) 小郷　寛他、「基礎からの交流理論」、電気学会監修.
3) 小郷　寛他、「回路網理論」、電気学会監修.
4) 遠山和之・稲葉成基・長谷川勝・所　哲郎著、「電気回路」、実践的技術者のための電気電子系教科書シリーズ、理工図書、pp.1-242、2018.4.24、ISBN978-4-8446-0875-2.
5) 大崎博之、「電気回路理論」、数理工学社.
6) 佐治　學、「電気回路Ａ」、オーム社.
7) 津吉彰、「よくわかる電気回路」、電気書院.
8) 奥村浩士、「電気回路理論入門」、朝倉書店.

数学ソフトと連携したひずみ波交流の学修支援コンテンツの開発

所　哲郎※1
Tetsuro TOKORO

1. はじめに

本校では別稿[1)]に示した通り、電気情報工学科の電気回路系の学修に於いて、ひずみ波交流と畳み込み積分の理解による回路応答の学修を最重点項目としている。科目的には第3学年後期後半の電気回路Ⅰのひずみ波交流、第4学年前期前半の情報伝送工学による指数関数応答系の複合正弦波応答問題、応用数学によるフーリエ級数・フーリエ変換の学修等が関係している。情報工学系では更に、信号処理や画像解析などでも周波数解析について学ぶ。

幸い本校では、AP事業によりICT活用やMathcadなどの数学ソフトの活用が可能となったので、教科書のページ数制限にとらわれること無く、十分な解説が可能となった。前年度から採用した理工図書の「電気回路[2)] 7章」でも、上記を意識した編纂が成されている。この新しい教科書でも、電気回路のひずみ波応答の詳しい理解を促しているが、以下にその内容を補填・拡充する問題例を紹介する。最新の数学ソフトを活用することで、より複雑な回路解析も、基本的な学修内容を利用するだけで解くことが可能となるとともに、より深い理解や応用の確認も可能となる。

2.ひずみ波交流のフーリエ級数展開問題例

畳み込み積分を用いた線形時不変システム（LTI; Linear Time-Invariant System）の電気回路応答を理解すれば、後はひずみ波の正弦波への分解を用いて、個々の正弦波に対する応答を求めれば良い。そうすればひずみ波交流として学ぶべきことは、ひずみ波交流の実効値が、各周波数成分の実効値の二乗和のルートとなる事と、各周波数成分の電力の和が有効電力となる事のみである。必要に応じて、等価正弦波としての取り扱いが理解できれば良い。

Q1-1：振幅 1 の正弦波のフーリエ級数が $b_1=1$ となる事を求めよ。

$$a_0 := \frac{1}{T}\int_0^T e(t)\,\mathrm{d}t = 0$$

$$a_1 := \frac{2}{T}\int_0^T e(t)\cdot\cos(\omega\cdot t)\,\mathrm{d}t = 0 \quad b_1 := \frac{2}{T}\int_0^T e(t)\cdot\sin(\omega\cdot t)\,\mathrm{d}t = 1$$

Q1-2：振幅 1 の方形波のフーリエ級数展開式を求めよ。

$$e(t) := \sum_{n=1}^{m}\left(\frac{4}{\pi\cdot(2\cdot n-1)}\cdot\sin((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

Q1-3：振幅 1 の三角波のフーリエ級数展開式を求めよ。

$$e(t) := \sum_{n=1}^{m}\left(\frac{8}{\pi^2}\ \frac{-(-1)^n}{(2\cdot n-1)^2}\cdot\sin((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

Q1-4：振幅 1 の余弦波のフーリエ級数が $a_1=1$ となる事を求めよ。

$$a_1 := \frac{2}{T}\int_0^T \cos(\omega\cdot t)\cdot\cos(1\cdot\omega\cdot t)\,\mathrm{d}t = 1$$

Q1-5：振幅 1 の偶関数方形波のフーリエ級数展開式を求めよ。

$$e(t) := \sum_{n=1}^{m}\left(\frac{-4\cdot(-1)^n}{\pi\cdot(2\cdot n-1)}\cdot\cos((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

Q1-6：振幅 1 の偶関数三角波のフーリエ級数展開式を求めよ。

$$e(t) := \sum_{n=1}^{m}\left(\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{1}{(2\cdot n-1)^2}\cdot\cos((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

3. ひずみ波交流の実効値の問題例

ひずみ波交流の実効値は

$$E := \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T e(t)^2\,\mathrm{d}t} = \sqrt{E_0^{\,2}+E_1^{\,2}+E_2^{\,2}+E_3^{\,2}+\cdots}$$

で求められる。

Q2-1：振幅 1 の正弦波の実効値を求めよ。

$$E := \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T e(t)^2\,\mathrm{d}t} \xrightarrow{assume,\,ALL>0} \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Q2-2：振幅 1 の方形波の実効値を、フーリエ級数を用いて求めよ。

$$E := \sqrt{\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{4}{\sqrt{2}\cdot\pi}\cdot\frac{1}{(2\cdot n-1)}\right)^2} \rightarrow 1 \quad \sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(2\cdot n-1)}\right)^2 \rightarrow \frac{\pi^2}{8}$$

Q2-3：振幅 1 の三角波の実効値を、フーリエ級数を用いて求めよ。

$$E:=\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{8}{\sqrt{2}\cdot\pi^{2}}\frac{-(-1)^{n}}{(2\cdot n-1)^{2}}\right)^{2}}\rightarrow\frac{\sqrt{3}}{3}\qquad \sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2\cdot n-1)^{4}}\rightarrow\frac{\pi^{4}}{96}$$

4. ひずみ波交流の平均値の問題例

正弦波位相（奇関数）のひずみ波交流の平均値は

$$E_a:=\frac{1}{\frac{T}{2}}\int_{0}^{\frac{T}{2}}e(t)\,\mathrm{d}t$$

で求められる。実波形が正の半周期の平均値となる。フーリエ級数展開した高調波では、実波形が正の期間の平均値がマイナスに成る高調波成分もあることに注意が必要である。

Q3-1：振幅 1 の正弦波の平均値を求めよ。

$$E_a:=\frac{1}{\frac{T}{2}}\int_{0}^{\frac{T}{2}}e(t)\,\mathrm{d}t\xrightarrow{simplify}\frac{2}{\pi}$$

Q3-2：振幅 1 の方形波の平均値を、フーリエ級数を用いて求めよ。

$$\frac{8}{\pi^{2}}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2\cdot n-1)^{2}}\rightarrow 1\qquad \sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(2\cdot n-1)}\right)^{2}\rightarrow\frac{\pi^{2}}{8}$$

Q3-3：振幅 1 の三角波の平均値を、フーリエ級数を用いて求めよ。

$$\frac{16}{\pi^{3}}\cdot\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(4\cdot n-3)^{3}}-\frac{1}{(4\cdot n-1)^{3}}\right)\right)\xrightarrow[simplify]{assume,\,n=integer}\frac{1}{2}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(4\cdot n-3)^{3}}-\frac{1}{(4\cdot n-1)^{3}}\right)\rightarrow\frac{\pi^{3}}{32}$$

5. 半波および全波整流波形の問題例

奇関数位相の方形波と正弦波と三角波の半波および全波整流波形のフーリエ級数展開とそれらの実効値及び平均値に関する問題を示す。実効値は半波は $1/\sqrt{2}$、全波は同じ、平均値は半波は 1/2、全波は同じになる。

Q4-1：振幅 1 の正弦波の全波および半波整流波形のフーリエ級数展開式とそれらの実効値及び平均値を求めよ。

$$e(t):=\frac{4}{\pi}\cdot\left(\frac{1}{2}+\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{-1}{(2\cdot n)^{2}-1}\cdot\cos(2\cdot n\cdot\omega\cdot t)\right)\right)$$

$$E:=\sqrt{\left(\frac{2}{\pi}\right)^{2}+\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{4}{\sqrt{2}\cdot\pi}\cdot\frac{-1}{(2\cdot n)^{2}-1}\right)^{2}\right)}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{2}}{2}=0.707$$

$$E_a:=\frac{2}{\pi}=0.637\qquad \sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{-1}{(2\cdot n)^{2}-1}\right)^{2}\rightarrow\frac{\pi^{2}}{16}-\frac{1}{2}$$

$$e(t):=\frac{1}{2}\cdot\sin(\omega\cdot t)+\frac{2}{\pi}\cdot\left(\frac{1}{2}+\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{-1}{(2\cdot n)^{2}-1}\cdot\cos(2\cdot n\cdot\omega\cdot t)\right)\right)$$

$$E:=\sqrt{\left(\frac{1}{\pi}\right)^{2}+\left(\frac{1}{\sqrt{2}\cdot 2}\right)^{2}+\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{2}{\sqrt{2}\cdot\pi}\cdot\frac{-1}{(2\cdot n)^{2}-1}\right)^{2}\right)}\xrightarrow{simplify}\frac{1}{2}$$

$$E_a:=\frac{1}{\pi}$$

Q4-2：振幅 1 の方形波の全波および半波整流波形のフーリエ級数展開式とそれらの実効値及び平均値を求めよ。

$$e(t):=|R(t)|$$

$$E:=\sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_{0}^{T}\left(e(t)^{2}\right)\mathrm{d}t}\rightarrow 1$$

$$E_a:=\frac{2}{T}\cdot\int_{0}^{\frac{T}{2}}e(t)\,\mathrm{d}t\rightarrow 1$$

$$e(t):=\frac{1}{2}+\frac{2}{\pi}\cdot\left(\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{1}{2\cdot n-1}\cdot\sin((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)\right)$$

$$E:=\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^{2}+\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{2}{\sqrt{2}\cdot\pi}\cdot\frac{1}{(2\cdot n-1)}\right)^{2}\right)}\rightarrow\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$E_a:=\frac{1}{2}$$

Q4-3：振幅 1 の三角波の全波および半波整流波形のフーリエ級数展開式とそれらの実効値及び平均値を求めよ。

$$e(t):=\frac{1}{2}+\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{-4}{\pi^{2}}\frac{1}{(2\cdot n-1)^{2}}\cdot\cos(2\cdot(2\,n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

$$E:=\sqrt{\left(\frac{1}{2}\right)^{2}+\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{-4}{\sqrt{2}\cdot\pi^{2}}\cdot\frac{-1}{(2\cdot n-1)^{2}}\right)^{2}\right)}\rightarrow\frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$E_a:=\frac{1}{2}$$

$$e(t):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{4}{\pi^{2}}\frac{-(-1)^{n}}{(2\cdot n-1)^{2}}\cdot\sin((2\,n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)+\frac{1}{4}+\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{-2}{\pi^{2}}\frac{1}{(2\cdot n-1)^{2}}\cdot\cos(2\cdot(2\,n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

$$E:=\sqrt{\left(\frac{1}{4}\right)^{2}+\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{4}{\sqrt{2}\cdot\pi^{2}}\cdot\frac{-1\,(-1)^{n}}{(2\cdot n-1)^{2}}\right)^{2}\right)+\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{-2}{\sqrt{2}\cdot\pi^{2}}\cdot\frac{1}{(2\cdot n-1)^{2}}\right)^{2}\right)}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{6}}{6}$$

$$E_a:=\frac{1}{4}$$

6. 方形波電圧と三角波電流の問題例

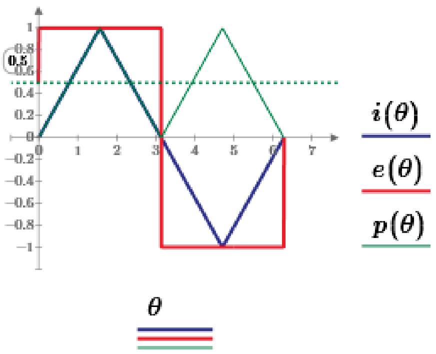
奇関数位相の方形波電圧と三角波電流の電力や等価正弦波としての取り扱いを問う問題は電気学会の交流理論教科書の良問である。ここではひずみ波交流としてそれぞれをフーリエ級数展開した問題例を示す。ひずみ波の電力が下記となることを用いる。

$$P:=\boxed{E_0}\cdot I_0+\sum_{n=1}^{\infty}\left(E_n\cdot I_n\cdot cos(\theta_n)\right)$$

Q5-1：位相 θ で表現した、奇関数である振幅 1 の方形波電圧と振幅 1 の三角波電流の平均電力を求めよ。なお、この瞬時電力は全波整流三角波となる。

$$P:=\sum_{n=1}^{100}\left(\left(\frac{4}{\sqrt{2}\cdot\pi}\cdot\frac{1}{(2\cdot n-1)}\right)\cdot\left(\frac{8}{\sqrt{2}\cdot\pi^{2}}\cdot\frac{1}{(2\cdot n-1)^{2}}\right)\cdot\left(-(-1)^{n}\right)\right)=0.5$$

$$\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{16}{\pi^{3}}\cdot\frac{1}{(4\cdot n-3)^{3}}\right)-\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{16}{\pi^{3}}\cdot\frac{1}{(4\cdot n-1)^{3}}\right)\xrightarrow{simplify}\frac{1}{2}$$

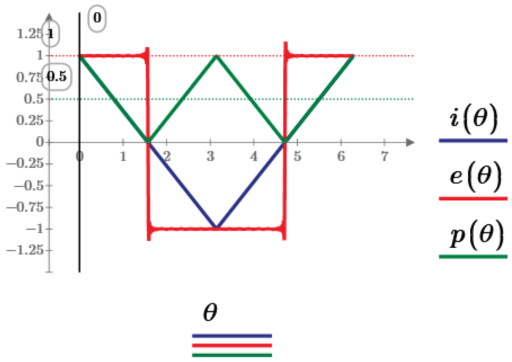


Q5-2：位相 θ で表現した、偶関数である振幅 1 の方形波電圧と振幅 1 の三角波電流の平均電力を求めよ。なお、この瞬時電力は全波整流三角波となる。

$$e(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{4}{\pi}\cdot\frac{-1\cdot(-1)^{n}}{(2\cdot n-1)}\cdot\cos((2\,n-1)\cdot\theta)\right)$$

$$i(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{8}{\pi^{2}}\cdot\frac{1}{(2\cdot n-1)^{2}}\cdot\cos((2\,n-1)\cdot\theta)\right)$$

$$p(\theta):=e(\theta)\cdot i(\theta)\qquad P:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_{0}^{2\cdot\pi}p(\theta)\,\mathrm{d}\theta=0.5$$

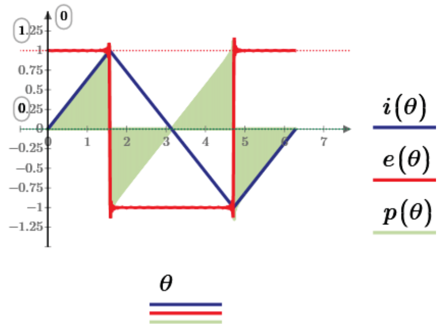


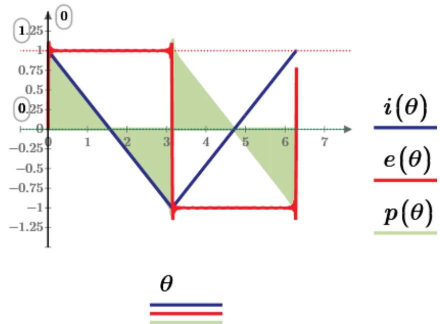
Q5-3：位相 θ で表現した、偶関数である振幅 1 の方形波電圧と奇関数である振幅 1 の三角波電流の平均電力を求めよ。図は偶関数と奇関数が逆の場合も示せ。

$$e(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{4}{\pi}\cdot\frac{-1\cdot(-1)^{n}}{(2\cdot n-1)}\cdot\cos((2\,n-1)\cdot\theta)\right)$$

$$i(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{8}{\pi^{2}}\cdot\frac{-1\cdot(-1)^{n}}{(2\cdot n-1)^{2}}\cdot\sin((2\,n-1)\cdot\theta)\right)$$

$$P:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_{0}^{2\cdot\pi}p(\theta)\,\mathrm{d}\theta=0$$





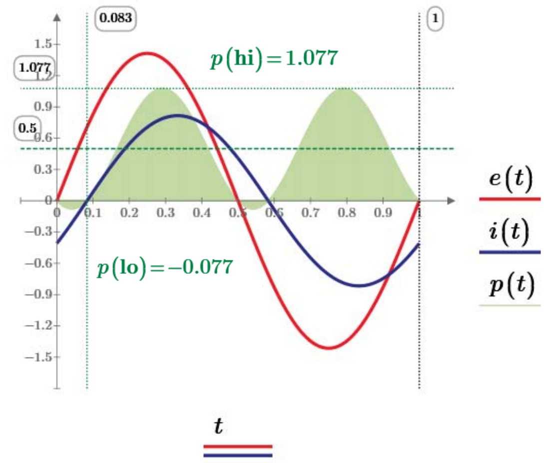
Q5-4：奇関数である振幅 1 の方形波電圧と振幅 1 の三角波電流の等価正弦波としての扱いをグラフで示せ。位相差は電流を遅れ位相で示すこと。

$$E:=1\quad I:=\frac{1}{\sqrt{3}}\quad P:=\frac{1}{2}\quad \theta:=\mathrm{acos}\left(\frac{P}{E\cdot I}\right)\to\frac{\pi}{6}$$

$$e(t):=\sqrt{2}\cdot E\cdot\sin(\omega\cdot t)$$

$$i(t):=\sqrt{2}\cdot I\cdot\sin(\omega\cdot t-\theta)$$

$$p(t):=e(t)\cdot i(t)\qquad P:=\frac{1}{T}\cdot\int_{0}^{T}e(t)\cdot i(t)\,\mathrm{d}t\to\frac{1}{2}$$



Q5-5：奇関数である振幅 1 の方形波電圧と振幅 1 の三角波電流をそれぞれ半波整流した場合の電力を求めグラフで示せ。ただし、電圧と電流をそれぞれ下記の様に 2 つの成分に分けて考えよ。

$$e_1(t):=\frac{1}{2} \quad e_2(t):=\frac{2}{\pi}\cdot\left(\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{1}{2\cdot n-1}\cdot\sin((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)\right)$$

$$e(t):=e_1(t)+e_2(t)$$

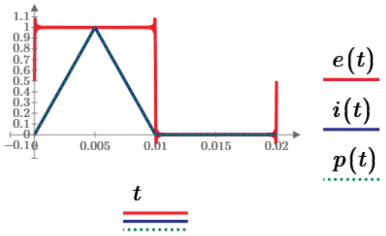
$$i_1(t):=\frac{1}{4}+\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{-2}{\pi^2}\ \frac{1}{(2\cdot n-1)^2}\cdot\cos(2\cdot(2\ n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

$$i_2(t):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{4}{\pi^2}\ \frac{-(-1)^n}{(2\cdot n-1)^2}\cdot\sin((2\ n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$

$$i(t):=i_1(t)+i_2(t)$$

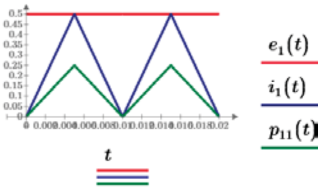
$$p(t):=e(t)\cdot i(t) \qquad P:=\frac{1}{T}\cdot\int_0^T p(t)\,\mathrm{d}t=0.25$$

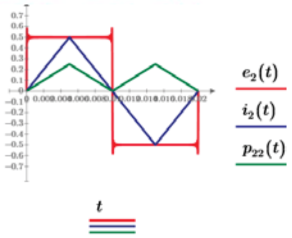
$$P:=\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{4}+\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{8}{\pi^3}\cdot\frac{-(-1)^n}{2\cdot(2\cdot n-1)^3}\right)=0.25$$

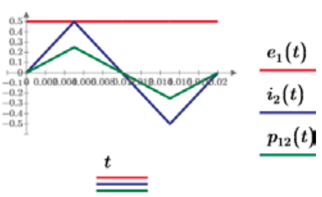


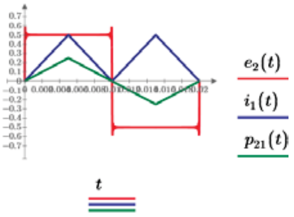
$$p_{11}(t):=e_1(t)\cdot i_1(t) \qquad p_{22}(t):=e_2(t)\cdot i_2(t)$$

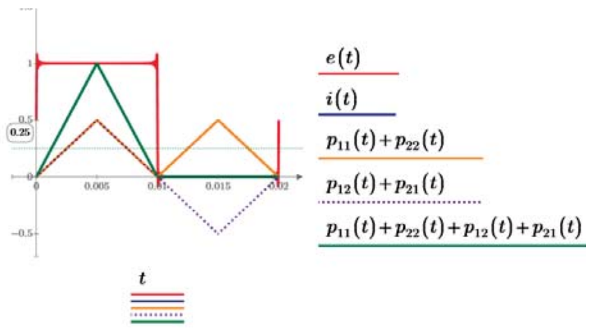
$$p_{12}(t):=e_1(t)\cdot i_2(t) \qquad p_{21}(t):=e_2(t)\cdot i_1(t)$$









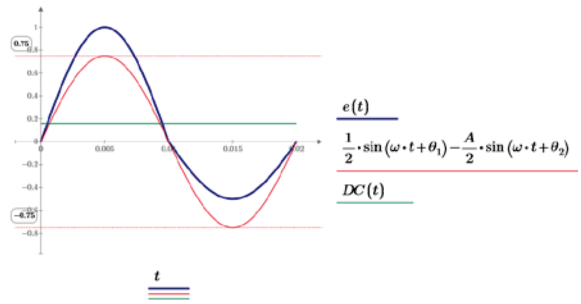


半波整流した波形の後半部分の各成分は打ち消し合うことにより、見かけ上 0 になっている。

7. 複合波形のフーリエ級数展開の問題例

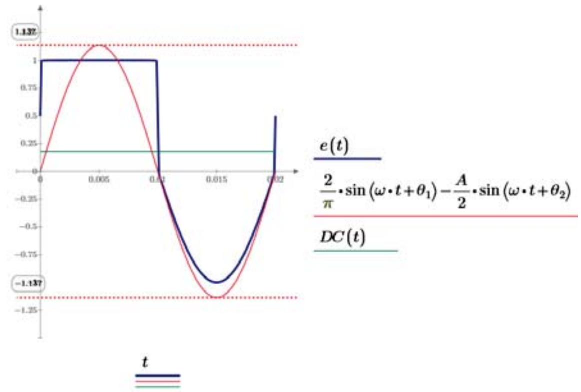
半波整流した各種波形を複合させることで色々な非対称波形を作成することができる。

Q6-1：正弦・1/2 正弦波を作成せよ。その等価正弦波および、実効値と平均値を求めよ。



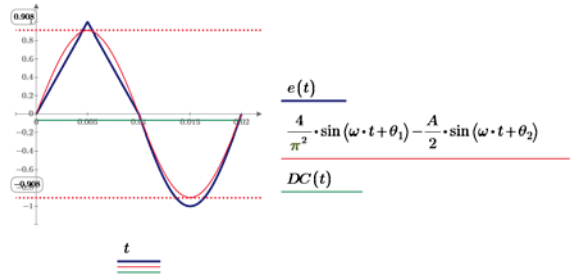
$$E:=\sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T e(t)^2\,\mathrm{d}t}=0.559 \qquad E_{ave}:=\frac{1}{T}\int_0^T |e(t)|\,\mathrm{d}t=0.477$$

Q6-2：方形・正弦波を作成せよ。その等価正弦波および、実効値と平均値を求めよ。



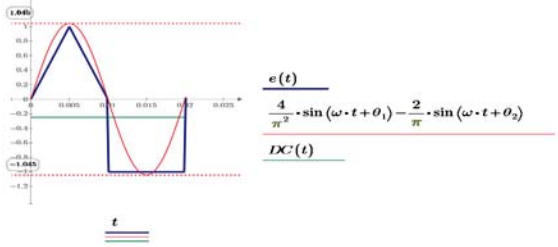
$$E:=\sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T e(t)^2\,\mathrm{d}t}=0.866 \qquad E_{ave}:=\frac{1}{T}\int_0^T |e(t)|\,\mathrm{d}t=0.818$$

Q6-3：三角・正弦波を作成せよ。その等価正弦波および、実効値と平均値を求めよ。



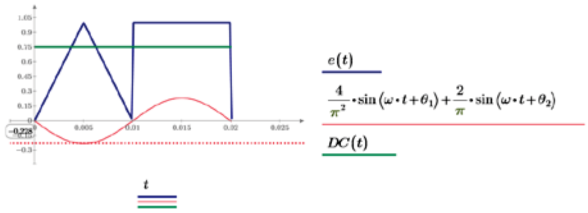
$$E:=\sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T e(t)^2\,\mathrm{d}t}=0.645 \qquad E_{ave}:=\frac{1}{T}\int_0^T |e(t)|\,\mathrm{d}t=0.568$$

Q6-4：三角・方形波を作成せよ。その等価正弦波および、実効値と平均値を求めよ。



$$E:=\sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T e(t)^2\,\mathrm{d}t}=0.816 \qquad E_{ave}:=\frac{1}{T}\int_0^T |e(t)|\,\mathrm{d}t=0.75$$

Q6-5：全波整流三角・方形波を作成せよ。その等価正弦波および、実効値と平均値を求めよ。



$$E:=\sqrt{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T e(t)^2\,\mathrm{d}t}=0.816 \qquad E_{ave}:=\frac{1}{T}\int_0^T |e(t)|\,\mathrm{d}t=0.75$$

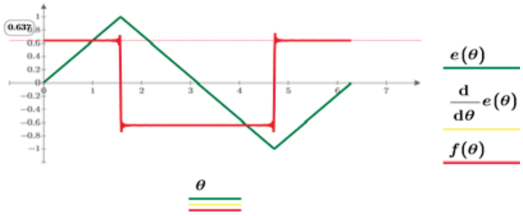
8. フーリエ級数展開の微分・積分問題例

時間領域波形の微分・積分が、フーリエ級数展開した各成分の微分・積分でも求められるか確認する。

Q7-1：三角波のフーリエ級数展開式の各成分を微分すると、その合成波形が方形波となることを確認せよ。

$$e(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{-(-1)^n}{(2\cdot n-1)^2}\cdot\sin((2\,n-1)\cdot\theta)\right)$$

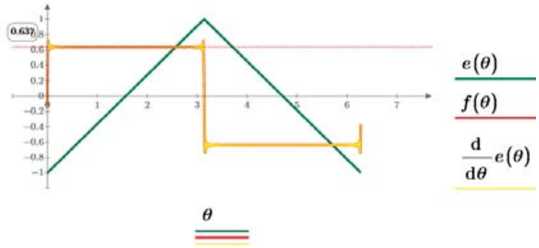
$$f(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(-\frac{8\cdot(-1)^n\cdot\cos(\theta\cdot(2\cdot n-1))}{\pi^2\cdot(2\cdot n-1)}\right)$$



Q7-2：上記問題の合成波形の方形波が奇関数となる様に三角波の位相を 90 度分遅らせよ。

$$e(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{-(-1)^n}{(2\cdot n-1)^2}\cdot\sin\left((2\,n-1)\cdot\left(\theta-\frac{\pi}{2}\right)\right)\right)$$

$$f(\theta):=\sum_{n=1}^{m}\left(-\frac{8\cdot\sin(\theta-2\cdot\theta\cdot n)}{\pi^2\cdot(2\cdot n-1)}\right)$$

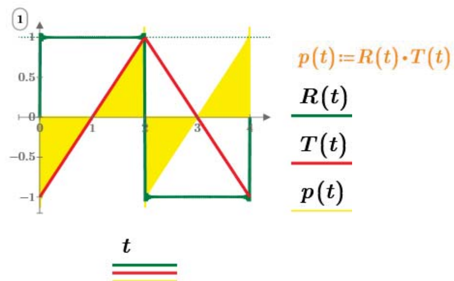


Q7-3：方形波のフーリエ級数展開式の各成分を積分すると、その合成波形が三角波となることを確認せよ。ただし、直流分は積分定数で打ち消すこと。また両者を電圧・電流として電力も求めよ。

$$R(t):=\frac{4}{\pi}\cdot\sum_{n=1}^{m}\frac{1}{(2\cdot n-1)}\cdot\sin((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)$$

$$\int\sin((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\,\mathrm{d}t\xrightarrow[\text{simplify}]{\text{assume}\,,n=\text{integer}}-\frac{2\cdot\cos\left(\frac{\pi\cdot t}{2}-\pi\cdot n\cdot t\right)}{2\cdot\pi\cdot n-\pi}$$

$$T(t):=\frac{4}{\pi}\cdot\sum_{n=1}^{m}\frac{1}{(2\cdot n-1)}\cdot\left(-\frac{2\cdot\cos\left(\frac{\pi\cdot t}{2}-\pi\cdot n\cdot t\right)}{2\cdot\pi\cdot n-\pi}\right)$$

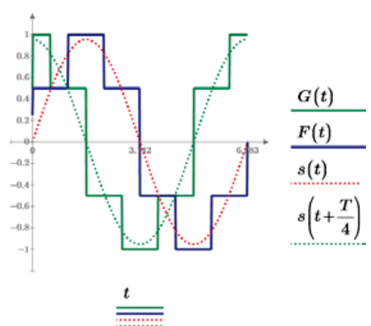


9. 階段波の等価正弦波問題例

振幅 1 で 2 段階または 3 段階の階段波の実効値と平均値を求め、その基本波成分とともにグラフで示せ。

Q8-1：凸型の階段波の奇関数と偶関数の場合。

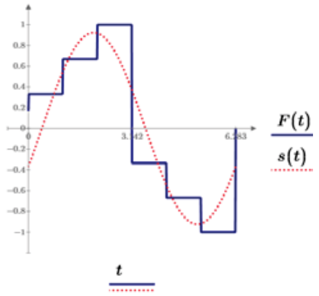
$$f(t):=\frac{3}{\pi}\cdot\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(2\cdot n-1)}-\frac{1}{(6\cdot n-3)}\right)\cdot\sin((2\cdot n-1)\cdot\omega\cdot t)\right)$$



$$E:=\frac{3}{\sqrt{2}\cdot\pi}\cdot\left(\sqrt{\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(2\cdot n-1)^2}-\frac{1}{(6\cdot n-3)^2}\right)}\right)\rightarrow\frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$E_a:=\left(\frac{3}{\pi}\cdot\frac{2}{\pi}\right)\cdot\left(\sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{1}{(2\,n-1)^2}-\frac{1}{(6\,n-3)^2}\right)\right)\rightarrow\frac{2}{3}$$

Q8-2：3 段階の階段波の場合（その 1）。

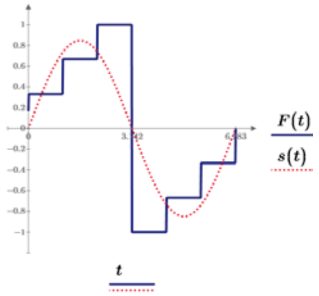


基本波波高値

$$\sqrt{\frac{76}{9\cdot\pi^2}}=0.925$$

$$F_e:=\sqrt{\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}F(t)^2\,\mathrm{d}t}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{42}}{9}\qquad F_a:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}|F(t)|\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{2}{3}$$

Q8-2：3 段階の階段波の場合（その 2）。

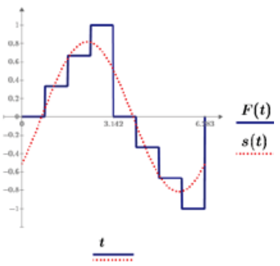


基本波波高値

$$\sqrt{\frac{64}{9\cdot\pi^2}}=0.849$$

$$F_e:=\sqrt{\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}F(t)^2\,\mathrm{d}t}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{42}}{9}=0.72008\qquad F_a:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}|F(t)|\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{2}{3}$$

Q8-3：4 段階の階段波の場合。

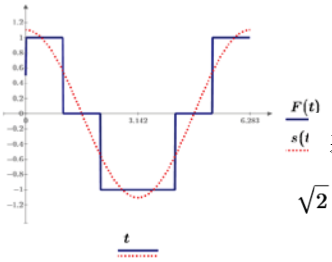


基本波波高値

$$0.578\cdot\sqrt{2}=0.817$$

$$F_e:=\sqrt{\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}F(t)^2\,\mathrm{d}t}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{14}}{6}=0.62361\qquad F_a:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}|F(t)|\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{1}{2}$$

Q8-4：チョップ波の場合（3 等分。2/3on）。



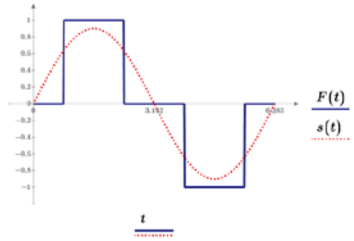
基本波波高値

$$\sqrt{2}\cdot\sqrt{\frac{6}{\pi^2}}=1.103$$

$$F_e:=\sqrt{\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}F(t)^2\,\mathrm{d}t}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{6}}{3}=0.8165$$

$$F_a:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}|F(t)|\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{2}{3}$$

Q8-5：チョップ波の場合（4 等分。2/4on）。

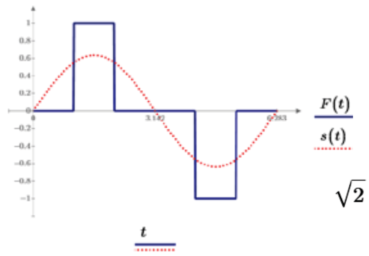


基本波波高値

$$\sqrt{2}\cdot\sqrt{\frac{4}{\pi^2}}=0.9$$

$$F_e:=\sqrt{\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}F(t)^2\,\mathrm{d}t}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{2}}{2}\qquad F_a:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}|F(t)|\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{1}{2}$$

Q8-6：チョップ波の場合（3 等分。1/3on）。



基本波波高値

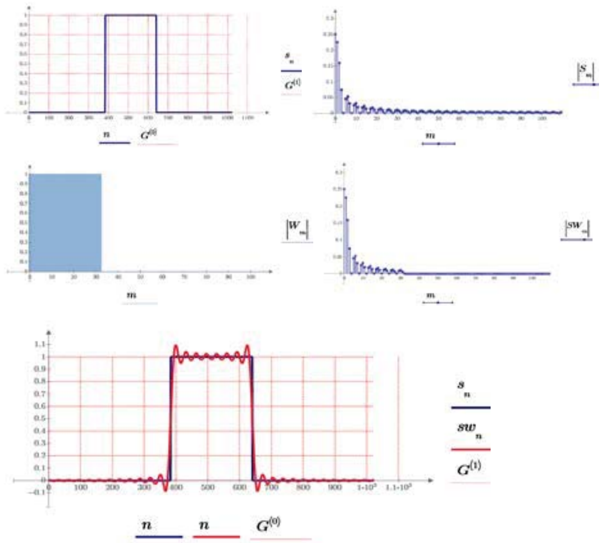
$$\sqrt{2}\cdot\sqrt{\frac{2}{\pi^2}}=0.637$$

$$F_e:=\sqrt{\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}F(t)^2\,\mathrm{d}t}\xrightarrow{simplify}\frac{\sqrt{3}}{3}\qquad F_a:=\frac{1}{2\cdot\pi}\cdot\int_0^{2\cdot\pi}|F(t)|\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{1}{3}$$

10. パルス波形のFFTフーリエ解析の問題例

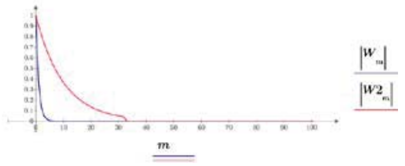
パルス波系の FFT および窓関数処理、IFFT に関する問題例を以下に示す。

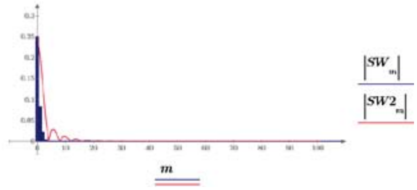
Q9-1 : 任意の幅(256)のパルス波を作成し、1024 点 FFT によりスペクトルを求め、第 32 高調波までの LPF により処理したスペクトルを、IFFT して波形に戻せ。

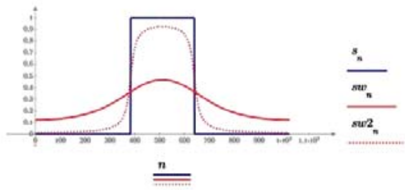


Q9-2 : 任意の幅(256)のパルス波を作成し、1024 点 FFT によりスペクトルを求め、下記の窓関数で処理したスペクトルを、IFFT して波形に戻せ。

$$W_m := e^{-m} \cdot \mathrm{if}(m \le mm, 1, 0) \quad W2_m := e^{\frac{-m}{10}} \cdot \mathrm{if}(m \le mm, 1, 0)$$

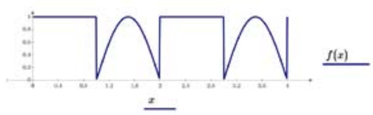




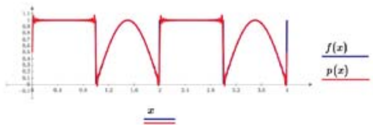


Q9-3：プログラムで繰り返し波形を作成し、フーリエ級数を求め、任意の高調波までで復元せよ。

```
f(x) := | if (0≤x)∧(x≤1)
        |   ‖1
        | else if (−1≤x)∧(x≤0)
        |   ‖−sin(x·π)
        | else if (x>1)
        |   ‖f(x−2)
```




```
FC(f,N,L) := | Z^⟨0⟩ ← [ ( 1/(2·L) · ∫_{−L}^{L} f(t) dt ) ]
             | for n ∈ 1..N
             |   | Z_{n,0} ← 1/L · ∫_{−L}^{L} f(t)·cos(n·π·t/L) dt
             |   | Z_{n,1} ← 1/L · ∫_{−L}^{L} f(t)·sin(n·π·t/L) dt
             | Z
```

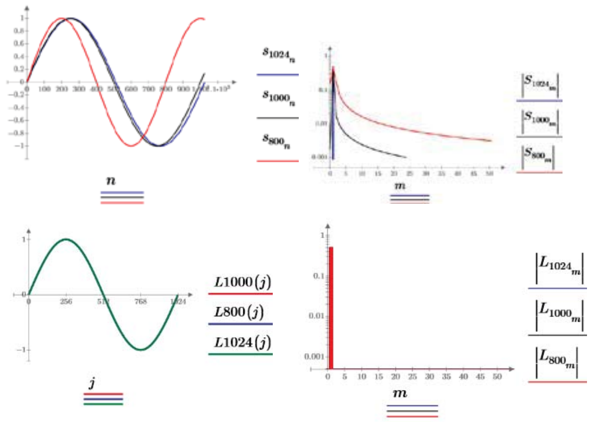


$$p(x) := A_0 + \sum_{n=1}^{Nt} \left(A_n \cdot \cos\left(\frac{n \cdot \pi \cdot x}{L}\right) + B_n \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi \cdot x}{L}\right) \right)$$

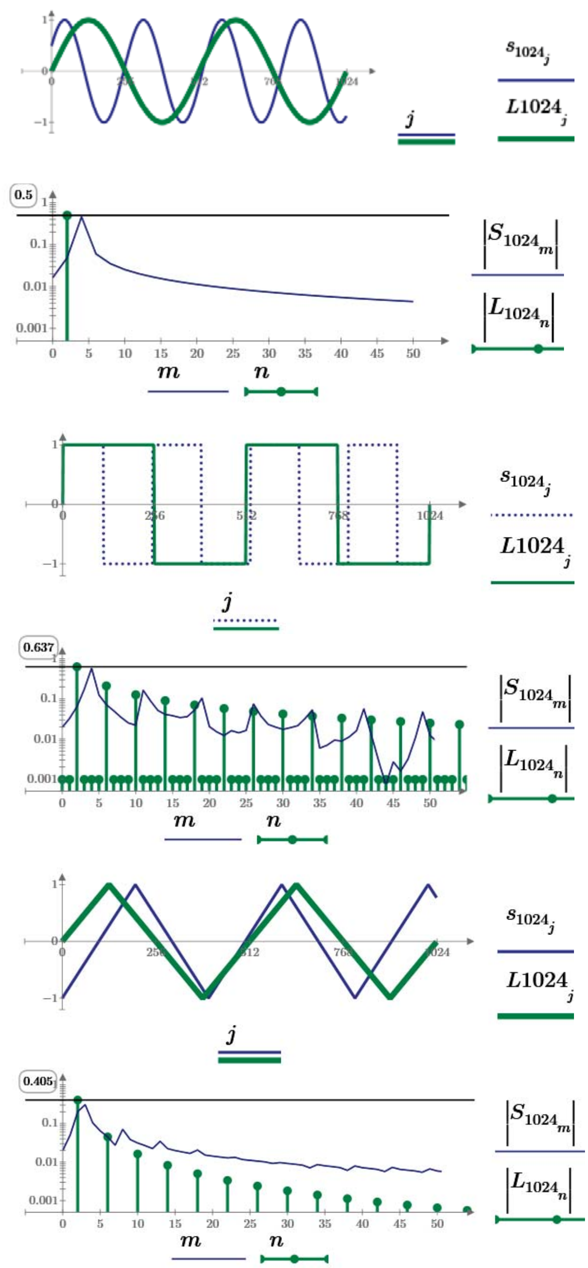
11. 線形補間とフーリエ波形解析の問題例

離散サンプリングした波形を 1024 点で 1 波形などに線形補間すると、正しいスペクトルの周波数と振幅を得ることが可能である。信号の基本波周波数が分かっている場合は、高次の補間を用いなくても線形補間で十分であり、窓関数を用いなくて良い。以下に順を追った問題例を示す。

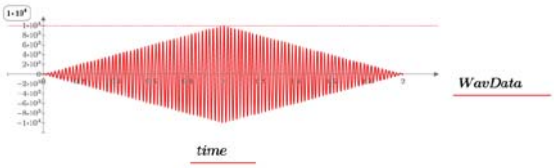
Q10-1：正弦波を 1 周期 800 点、1000 点、1024 点で作成し、1024 点の FFT によりスペクトルを求めよ。次に、これらを 1024 点で基本波 1 波形に線形補間することで、窓関数を用いなくても、スペクトルの振幅と周波数が正しく求められることを示せ。

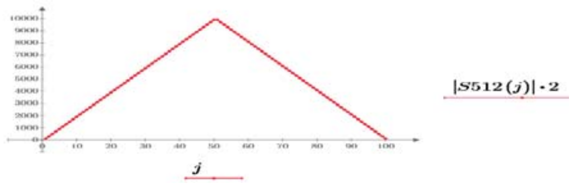


Q10-2：1024 点で 3.6 周期の正弦波と方形波と三角波から 2 周期分を取り出し、線形補間により 1024 点とすることで FFT によるスペクトルを正しく求めよ。

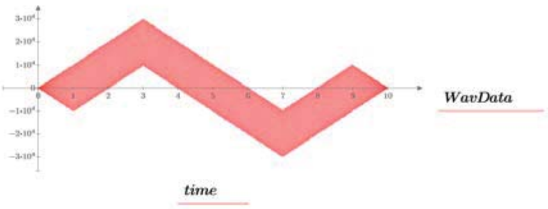


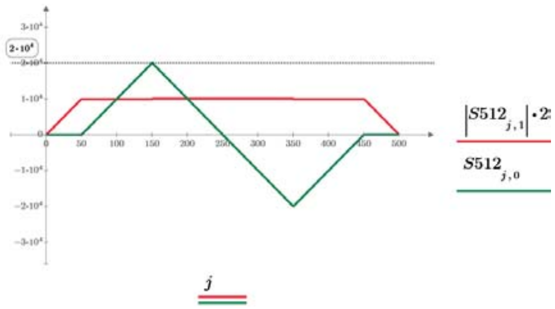
Q10-3：ランプ正弦波波形を 1 周期ごとに切り出し、1024 点に線形補間することで、ランプ波のスペクトルの変化を可視化せよ。





Q10-4：直流重畳ランプ正弦波波形を 1 周期ごとに切り出し、1024 点に線形補間することで、直流分と交流分のスペクトルの変化を可視化せよ。





8. おわりに

5 年ほど前からの高専機構による MCC の確定などを鑑み、高専教員が主体となって電気系の学科で電気回路の学修を行うための新しい教科書「実践的技術者のための電気電子系教科書シリーズ・電気回路 [2)]」を作成した。一方、平成 29 年度からの本校新カリキュラムの進行に伴い、本校電気情報工学科の電気回路系の科目が通年 90 分×1 コマ分削減される事となった [3)]。

本校は平成 26 年度からの文部科学省による AP 事業により、最先端の ICT 活用教育環境を整えつつある。しかしながら優良コンテンツが無いと宝の持ち腐れとなる [4,5)]。本稿ではアクティブラーニング課題を含めて、数学ソフトと連携したひずみ波交流の学修支援コンテンツの問題例を、その有益性と共に紹介した。

Mathcad 等の数学ソフトを使うことで、授業で習った内容を確認したり、グラフにより可視化したり、変数を変えた場合の影響を確認したりすることが簡便に行える様になった。筆者が従来の教科書の章末問題を全て Mathcad で解いてみたところ、およそ 1/5 の時間で全ての問題を解くことができた。かつ、グラフの最大値や最小値、接線や円線図なども簡単にグラフで可視化し、定量的に数値を求める事ができた。Mathcad はシンボリックな演算も可能であるため、数式（文字式）のままでの解析も可能である。

今回編纂した教科書 [2)] は高専第 2 学年からの利用を想定しているため、電気系学科以外での電気回路の学修や大学学部での学修にも十分に耐えられる内容となっている。幸い作成した学修支援システムは、入門部分から、大学教育レベルの内容まで網羅しているので、EXCEL や iCircuit、Mathcad 等の最新の ICT 活用教育環境を利用して自習することも可能である。

与えられた問題を解くことまでに留まっていた学修から、問題を発展させて「新しい問題を自分で作ってお互いに解いてみる」というアクティブラーニングの次の段階に進むことを意識している。自身でたてた仮説的な問題を確認し、新しい知見を得るなど、発展的な学修形態へとステップアップすることが可能である。

AP による ICT 活用学修支援システムを今後とも拡張し教育資産として育てていきたい。優れた教育コンテンツを見いだすことが ICT 活用教育の醍醐味である。

※1：岐阜高専電気情報工学科(教授)

参考文献等

1) 所　哲郎、「数学ソフトと連携した電気回路の学修支援コンテンツの開発(2)」、令和元年度岐阜工業高等専門学校 AP 成果報告書、4 章 pp.4-5p、2020.03.
2) 遠山和之・稲葉成基・長谷川勝・所　哲郎著、「電気回路」、実践的技術者のための電気電子系教科書シリーズ、理工図書、pp.1-242、2018.4.24、ISBN978-4-8446-0875-2.
3) 小郷　寛他、「回路網理論」、電気学会監修.
4) 所　哲郎、「数学ソフトと連携した回路網応答の学修支援コンテンツの開発」、平成 30 年度岐阜工業高等専門学校 AP 成果報告書、pp.4-26-30、2019.03.
5) 所　哲郎、「AL 授業の実践報告(4E 情報伝送工学)」、平成 30 年度岐阜工業高等専門学校 AP 成果報告書、p.4-15、2019.03.

数学ソフトと連携した過渡現象の学修支援コンテンツの開発

所　哲郎[※1]
Tetsuro TOKORO

1.　はじめに

本校では前年度の報告[1)]に示した通り、電気情報工学科の電気回路系の学修に於いて、畳み込み積分の理解による回路応答の学修を最重点項目としている。科目的には第3学年後期後半の電気回路Ｉの過渡現象、第4学年前期前半の情報伝送工学による指数関数応答系の応答問題、応用数学によるラプラス変換の学修等が関係している。情報工学系では更に、信号処理や画像解析などでもコンボリューションについて学ぶ。

本校ではAP事業によりICT活用やMathcadなどの数学ソフトの活用が可能となったので、教科書のページ数制限にとらわれること無く、十分な解説が可能となった。前年度から採用された理工図書の「電気回路[2)]」では、上記を意識した編纂が成されている。

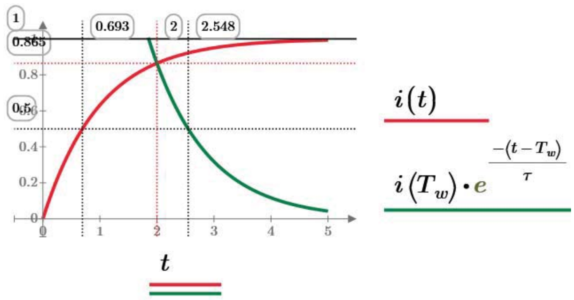
この新しい教科書の8章が過渡現象である。以前のカリキュラムの第4学年通年科目である情報伝送工学の「回路網理論[3)]」の1章に含まれる、LTIシステムの応答に関するコンテンツはやや不足している。信号処理などの科目で学ぶことも考えられるが、電気回路の応答としての理解が最も優れていると思われるので、いくつか数学ソフトを用いると解きやすい具体的な問題例を作成したので、その内容を紹介する。最新の数学ソフトを活用することで、より複雑な回路解析も、基本的な学修内容を利用するだけで解くことが可能となるとともに、より深い理解や応用の確認も可能となる。

2.　RL回路の直流過渡応答の問題例

畳み込み積分を用いた線形時不変システム（LTI; Linear Time-Invariant System）の電気回路応答を理解することは、工学を学ぶ学生の最も基本となる必達事項である。電圧V印加時の抵抗Rの電流応答の線形定常状態はオームの法則(V=IR)で記述されるが、複素インピーダンスを考えれば、入力電圧が無くても(V=0)出力電流が有る場合(i(t>0)≠0)、入力電圧が有っても(V=V)出力電流が無い場合(i(t=∞)=0))の可能性があることを、繰り返し学生に意識付けている。線形性のイメージだけでは、入力ゼロで出力がある事や、入力があるのに出力が無い事は理解しがたい。

電気回路の過渡現象を学ぶことで上記を理解した事になるが、LTI システムのステップ電圧応答やインパルス応答を学ぶ時には理解が不連続となる学生が多かった。そこで、LMS 内に懇切丁寧な解説を更に追加し更新するとともに教室外学修用の課題例を作成した。

Q1-1：抵抗 R=1[Ω]とインダクタンス L=1[H]を直列に接続した。振幅 1[V]の直流電圧を t=0-2[s]のみ印加した場合に電流が 1/2[A]となる時間を求めよ。

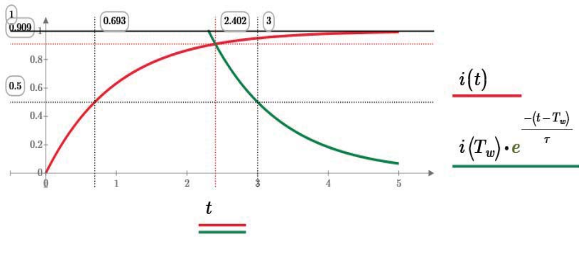


$$\ln(2)=0.693 \qquad \ln(2\cdot e^{2}-2)=2.548$$

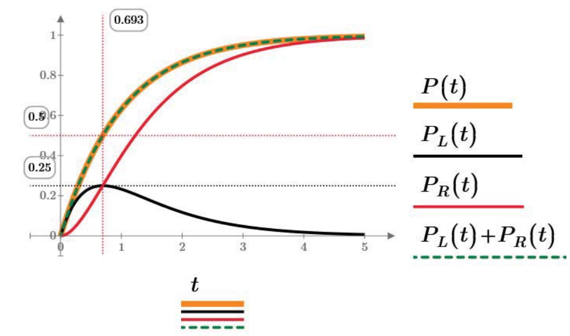
Q1-2：上記問題で t=3 で電流が 1/2[A]となる遮断時間T[s]を求めよ。

$$T := \left(1-e^{-T}\right)\cdot e^{\frac{-(3-T)}{\tau}} = \frac{1}{2} \xrightarrow[solve\,,T]{assume\,,ALL>0} \ln\left(e^{-3}+\frac{1}{2}\right)+3$$

$$T=2.402$$



Q1-3：抵抗 R=1[Ω]とインダクタンス L=1[H]を直列に接続した。振幅 1[V]の直流電圧を t=0[s]に印加した場合の電力 $p_L(t)$の最大値とその時間およびその時インダクタンスに蓄えているエネルギーとその時までに R で消費したエネルギーを求めよ。

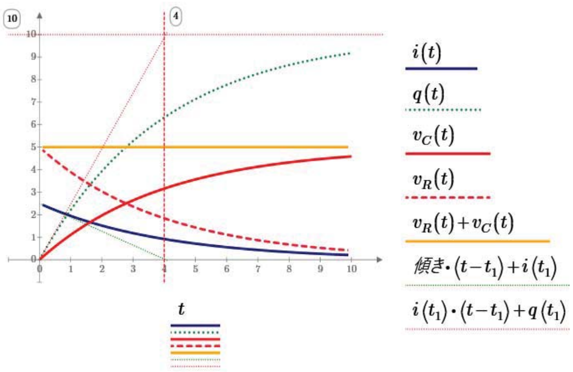


$$P_L'(t) \xrightarrow{solve} \ln(2), \quad P_L(\ln(2)) \rightarrow \frac{1}{4},$$

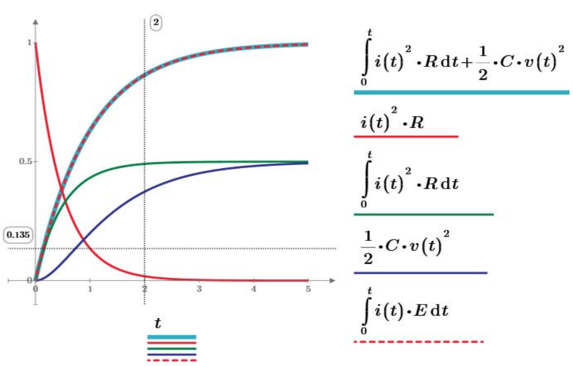
$$W_L(\ln(2)) \rightarrow \frac{1}{8} \quad , \quad W_R(\ln(2)) \rightarrow \ln(2) - \frac{5}{8}$$

3. RC回路の直流過渡応答の問題例

Q2-1：抵抗 R=2[Ω]とコンデンサ C=2[F]を直列に接続した。5[V]の直流電圧を t=0[s]から印加した場合の電源電圧が、R の電圧降下と C の電圧降下の和と等しいことを図で求めよ。また、t=0 の接線を引き、最終値と交わる時間を求めよ。任意の時間での接線を引き、最終値と交わるまでの時間を求めよ。

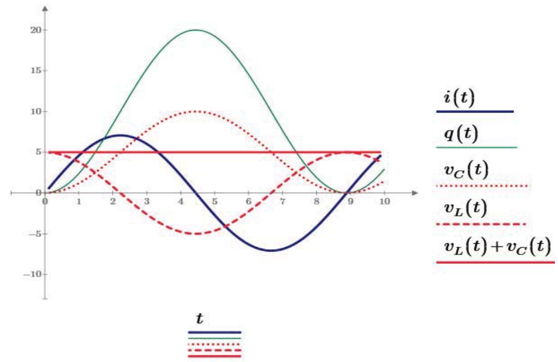


Q2-2：抵抗 R=1[Ω]とコンデンサ C=1[F]を直列に接続した。1[V]の直流電圧を t=0[s]から印加した場合の電源の供給したエネルギーが、R の消費した電力によるエネルギーと C に蓄えられたエネルギーの和と等しいことを図で求めよ。



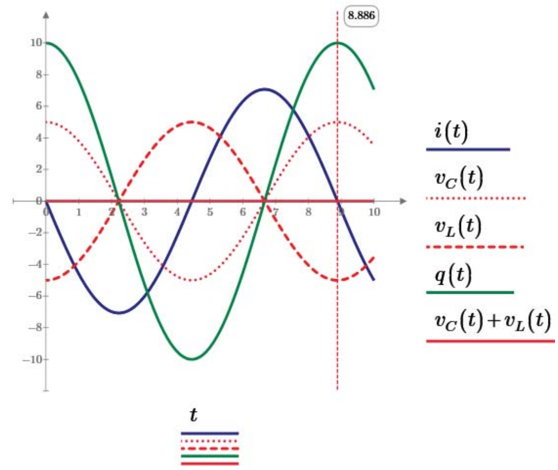
4. LC回路の直流過渡応答の問題例

Q3-1：インダクタンス L=1[H]とコンデンサ C=2[F]を直列に接続した。5[V]の直流電圧を t=0[s]から印加した場合の電源電圧が、L の電圧降下と C の電圧降下の和と等しいことを図で求めよ。また、正弦波振動の周期を求めよ。



$$\omega := \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} = 0.707 \quad , \quad T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = 8.886$$

Q3-2：インダクタンス L=1[H]と 5[V]の直流電圧で充電したコンデンサ C=2[F]を直列に t=0[s]に接続した。L の電圧降下と C の電圧降下の和が 0 と等しいことを図で求めよ。また、電流の実効値と周期を求めよ。



$$\frac{E}{\sqrt{2} \cdot \omega \cdot L} \rightarrow 5 \quad , \quad T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega} \rightarrow 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{2} = 8.886$$

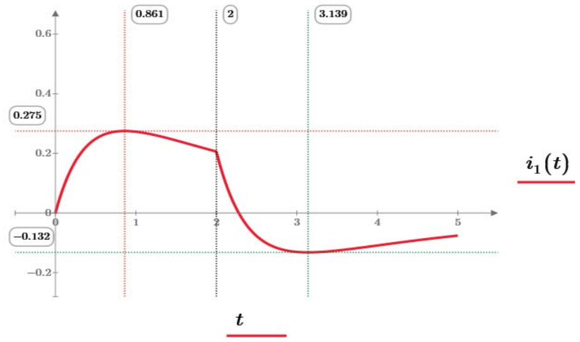
$$p(t) := (v_C(t) + v_L(t)) \cdot i(t) \rightarrow 0$$

5. RLC回路の直流過渡応答の問題例

Q4-1：抵抗 R=3[Ω]とインダクタンス L=1[H]と C=1[F]を直列に接続した。振幅 1[V]の直流電圧を t=0-2[s]のみ印加した場合の電流 $i_1(t)$の最大値と最小値およびそれらの時間を求めよ。

$$\frac{C\cdot R^2-4\cdot L}{4\cdot C\cdot L^2}=1.25$$

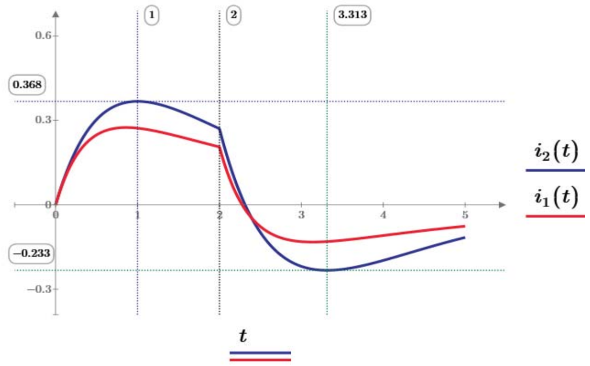
これは判別式が実数の場合である。



Q4-2 : 抵抗 R=2[Ω]とインダクタンス L=1[H]と C=1[F]を直列に接続した。振幅 1[V]の直流電圧を t=0-2[s]のみ印加した場合の電流 $i_2(t)$の最大値と最小値およびそれらの時間を求めよ。

$$\frac{C\cdot R^2-4\cdot L}{4\cdot C\cdot L^2}=0$$

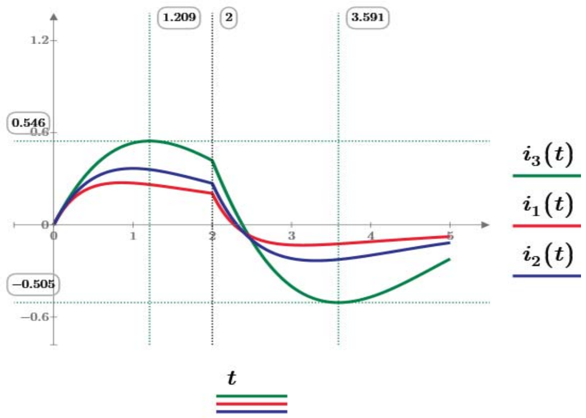
これは判別式が重根の場合である。



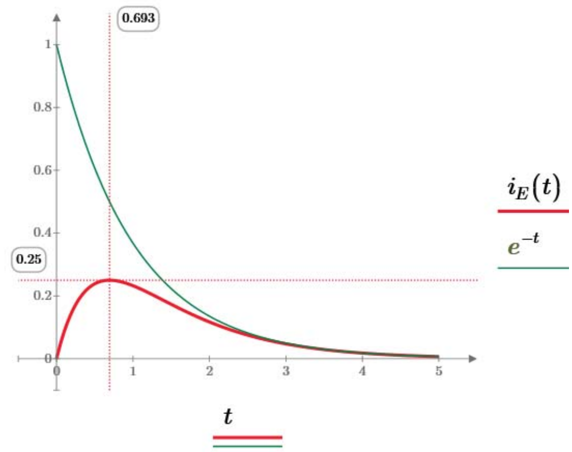
Q4-3 : 抵抗 R=1[Ω]とインダクタンス L=1[H]と C=1[F]を直列に接続した。振幅 1[V]の直流電圧を t=0-2[s]のみ印加した場合の電流 $i_3(t)$の最大値と最小値およびそれらの時間を求めよ。

$$\frac{C\cdot R^2-4\cdot L}{4\cdot C\cdot L^2}=-0.75$$

これは判別式が虚数の場合である。



Q4-4 ： 抵抗 R=3[Ω]とインダクタンス L=1[H]と C=1/2[F]を直列に接続した。振幅 1[V]の直流電圧を t=0[s]から印加した場合の電流 $i_E(t)$の最大値と時間を求めよ。次にその時の電源の供給したエネルギーと L と C に蓄えられるエネルギーと R で消費されるエネルギーを求めよ。また、それらの t=∞での値も求めよ。



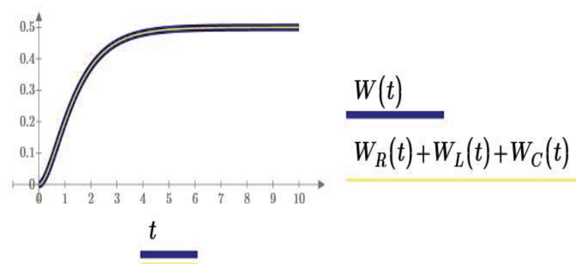
$$zero1:=\mathbf{root}\left(i_E{}'(t),t,0,2\right)\rightarrow\ln(2)\qquad\int_0^{zero1} i_E(t)\cdot E\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{1}{8}$$

$$\frac{1}{2}\cdot L\cdot i_E(zero1)^2\rightarrow\frac{1}{32}\qquad\frac{1}{2}\cdot C\cdot v_C(zero1)^2\rightarrow\frac{1}{64}\qquad\int_0^{zero1}\left(i_E(t)\right)^2\cdot R\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{5}{64}$$

$$\int_0^{\infty} i_E(t)\cdot E\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{1}{2}\qquad\int_0^{\infty}\left(i_E(t)\right)^2\cdot R\,\mathrm{d}t\rightarrow\frac{1}{4}\qquad v_C:=\frac{1}{C}\cdot\int_0^{\infty} i_E(t)\,\mathrm{d}t\rightarrow 1$$

$$\frac{1}{2}\cdot C\cdot v_C{}^2\rightarrow\frac{1}{4}$$

電源の供給するエネルギーはいつでも、回路の蓄えているエネルギーと消費しているエネルギーの和となることが確認できる。

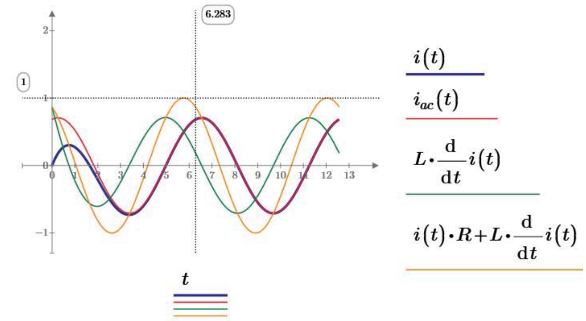


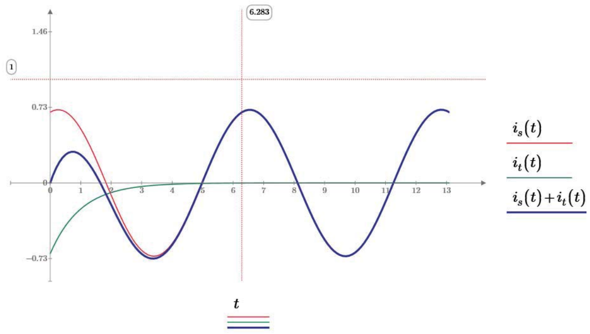
6. RL-RC回路の交流過渡応答の問題例

Q5-1 ：抵抗 R=1[Ω]とインダクタンス L=1[H]に振幅 1[V]の交流電圧を印加した場合の電流 i(t)の過渡項と定常項を求めグラフで示せ。

$$v(t):=1\cdot\cos\left(\omega\cdot t+\frac{\pi}{6}\right)\qquad\theta:=\mathrm{atan}\left(\frac{\omega\cdot L}{R}\right)$$

$$i(t):=\frac{V_m}{\sqrt{R^2+(\omega\cdot L)^2}}\cdot\left(\cos(\omega\cdot t+\Psi-\theta)-e^{\frac{-t}{\tau}}\cdot\cos(\Psi-\theta)\right)$$

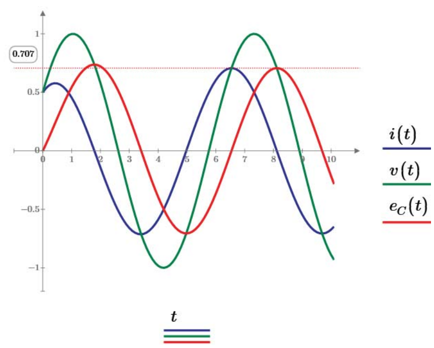


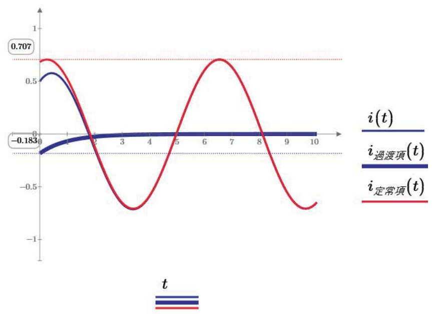


Q5-2：抵抗 R=1[Ω]とコンデンサ C=1[F]に振幅 1[V]の交流電圧を印加した場合の電流 i(t)の過渡項と定常項を求めグラフで示せ。i(0)が 0 で無く、q(0)=0 であり、定常電流初期値－過渡項の大きさ＝実際の電流初期値の 0.5 であることに注意が必要である。

$$v(t) := 1 \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \frac{\pi}{6}\right) \qquad \theta := \operatorname{atan}\left(\frac{1}{\omega \cdot C \cdot R}\right) \rightarrow \frac{\pi}{4}$$

$$i(t) := \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega \cdot C}\right)^2}} \cdot \left(\sin(\omega \cdot t + \Psi + \theta) - \frac{1}{\omega \cdot \tau} \cdot e^{\frac{-t}{\tau}} \cdot \cos(\Psi + \theta)\right)$$





7.　指数関数応答系の指数関数入力の問題例

入力波形が $x(t) := e^{-t} \xrightarrow{laplace} \frac{1}{s+1}$ 、インパルス応答波形が $h(t) := e^{-2 \cdot t} \xrightarrow{laplace} \frac{1}{s+2}$ である系の応答波形は Q3-4 の電流応答 $y(t) := X(s) \cdot H(s) \xrightarrow{invlaplace} e^{-t} - e^{-(2 \cdot t)}$ である。この応答波形を出力とする電気回路の問題を考えよ。

Q6-1：抵抗 R=1[Ω]とインダクタンス L=1[H]の直列回路の電流応答が上記となる印加電圧波形を求めよ。

$$v(t) := e^{-2 \cdot t}$$

Q6-2：直流 1[V]のインディシャル応答が上記となる RLC 直列回路を求めよ。

R=3[Ω]と L=1[H]と C=1/2[F]の直列回路

Q6-3：上記 RLC 直列回路の放電電流波形が上記となるコンデンサの初期電荷量。

$q(0) = 0.5$

Q6-4：上記 RLC 直列回路にインパスル電圧を印加した時の何が上記応答となるか。

$q(t)$

Q6-5：上記 RLC 直列回路に傾き 1 のランプ電圧を印加した時の何が上記応答となるか。

$v_L(t)$

Q6-6：この応答問題を RLC 並列回路に 1[A]の電流源を入力したときの何が上記応答となるか。

G=3[S]と C=1[F]と L=0.5[H]の並列回路の電圧 v(t)

Q6-7：この応答問題は RC 並列回路にどの様な電流源を入力したときの電圧波形となるか。

G=2[S]と C=1[F]の並列回路に i(t)=exp(-t)

$y'(t_1) = 0 \xrightarrow{solve, t_1} \ln(2)$ 、 $y(t_1) = 0.25$

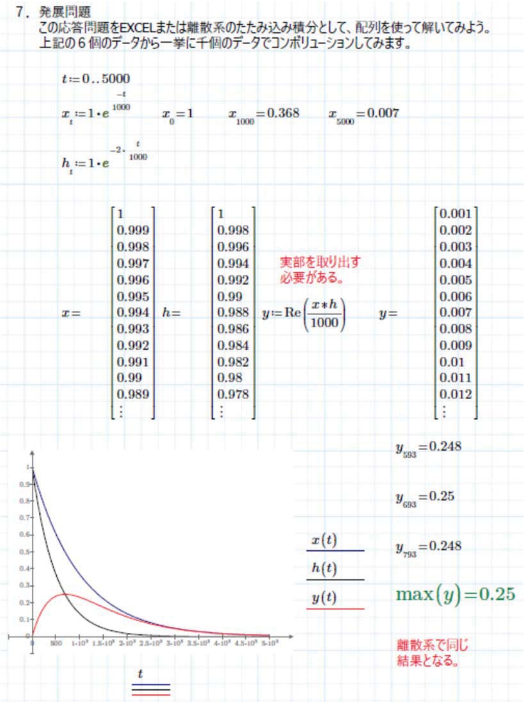
$$y_1(t) := \int_0^t x(\tau) \cdot h(t-\tau) \, d\tau \rightarrow e^{-t} - e^{-(2 \cdot t)} \qquad y_2(t) := \int_0^t x(t-\tau) \cdot h(\tau) \, d\tau \rightarrow e^{-t} - e^{-(2 \cdot t)}$$

8. LTIシステムの指数関数応答の離散的解析問題例

上記の 7 項での説明は畳み込み積分やラプラス変換を用いたシンボリック（アナログ）な解析であったが、離散的な解析についても Mathcad を活用して確認することができる。信号波形を離散的にデジタル化して配列に入れ、インパルス応答の配列との畳み込み（コンボリューション）により出力波形が計算できる。この

時 Mathcad には*のコンボリューション演算と ⊛の循環コンボリューション演算の 2 種類あるので、両者の違いを確認すると良い。また、サンプリング数を少なくしていくと応答の最大値などがアナログ系の結果と一致しなくなる理由を考察させると良い。

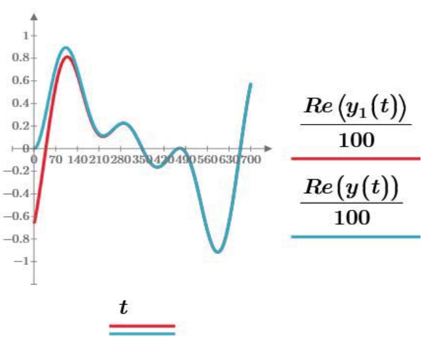
Q7-1 : 6 項での指数関数入力(x(t)=exp(-t))の指数関数応答系(h(t)=exp(-2t))の問題をサンプリング間隔 1[ms]の離散系で解け。



Q7-2 : 入力として 3 つの正弦波の合成波形を指数関数応答系に入力した場合の応答問題をサンプリング間隔 10[ms]の離散系で解け。

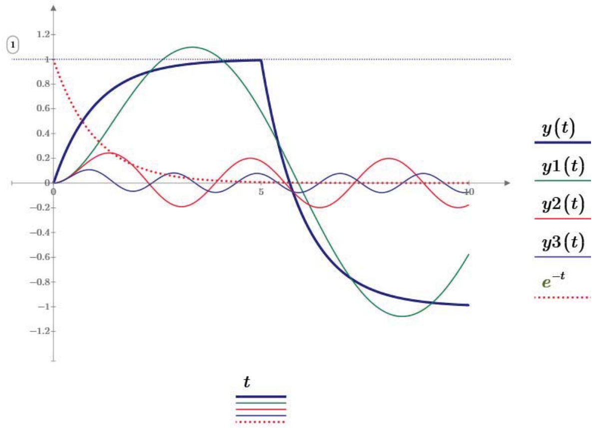
$x(t):=(\sin(t)+\sin(2\cdot t)+\sin(3\cdot t))\cdot\Phi(t)$　　$h(t):=e^{-2\cdot t}$

$y_1:=X⊛H$ は定常解、 $y:=X*H$ は過渡解が求まる。



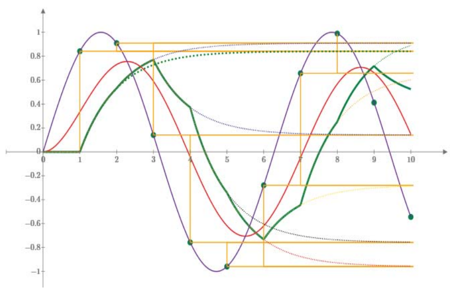
Q7-3 : ステップ電圧を方形波の前半として、フーリエ級数展開した 100 個の正弦波電圧の合成とし、全ての高調波成分による RL 回路の交流過渡応答を重ね合わせることで RL 回路の直流過渡応答を求めよ。

まずは、ω=1 で振幅4/ π の正弦波電圧波形(4/ π)sin(t)を指数関数応答系であるR=1[Ω]とL=1[H]の直列回路に入力したときの過渡応答を求める。次に(4/3 π)sin(3t)による過渡応答を求める。これらを(4/199 π)sin(199t)まで求め、全ての応答の重ね合わせを実行すれば良い。

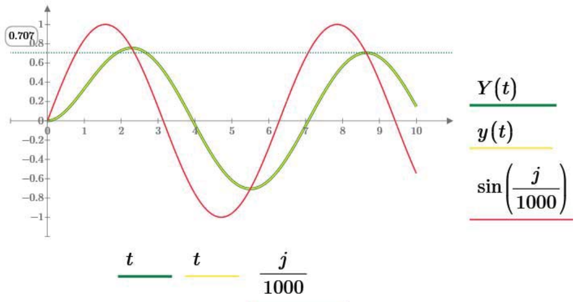


Q7-4 : 正弦波をサンプリングしたインディシャル応答の重ね合わせを用いて、RL 回路の直流過渡応答のみから RL 回路の交流過渡応答を求めよ。

まずは印加電圧波形をe(t)=sin(t)として1秒ごとにサンプリングする。下図の緑の●である。そして階段関数を用いて正弦波をデジタル化する。下図の黄色の線である。次にRL回路のそれぞれの階段関数によるインディシャル応答を畳み込み積分で求め、これらの和の緑の応答を求める。



正弦波電圧のサンプリング間隔を0.001秒と短くして、同様に全てのインディシャル応答を重ね合わせると、アナログ系のy(t)と等しくなる。



数学ソフトと連携した数学力とプログラミング力の学修支援コンテンツの開発（３）

所　哲郎[※1]
Tetsuro TOKORO

1.　はじめに

本校は、2000年からの高専教育のICT化に続き、独法化と共に高専教育の高度化と国際化に邁進してきている。文部科学省によるAP事業採択とも連携して、高専教育への更なるアクティブラーニング（AL）の活用や、学修成果の可視化に取り組んできている。その中で大学ICT推進協議会や米国EDUCAUSE等の情勢を鑑みると、高専教育にも更なるICT活用が望まれること、総務省や文部科学省の施策[1)]や報告[2, 3)]を鑑みると、数学力とプログラミング力の強化がその具体的な課題である事が読み取れる。

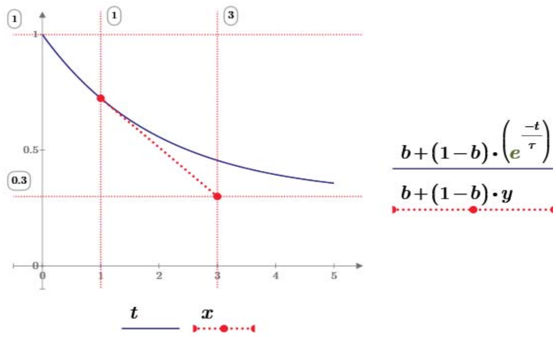
一方、高専機構によるモデルコアカリキュラム(MCC)は、2017年度より本格採用され、特に情報系学科科目への要求の高度化が顕著となってきた。インダストリー4.0は全世界で展開され、AIやIoTの活用は全ての分野で拡大され、Society 5.0に対応可能な高専教育が必然的な情勢である。そのような中からも、高専の全学科において、プログラミング力と数学力の育成は、国際化に関連した英語教育以上に大切な学修要素となってきている。

プログラミング力と数学力の育成は、本校がAPと共に進めているICT活用教育支援推進事業とも、極めて親和性の高い項目である。筆者は電気・電子系の科目を担当しているが、本稿では、電気回路系の学修を意識しつつ、数学ソフトであるMathcadと連携したプログラミングの学修支援コンテンツの開発[4)]を継続しているので、その内容の一部を課題集として紹介する。高専機構としてもようやく、教材共有のシステムが稼働を開始した[5)]。これらの優良学修支援コンテンツの共有が関係者間で進めば幸いである。

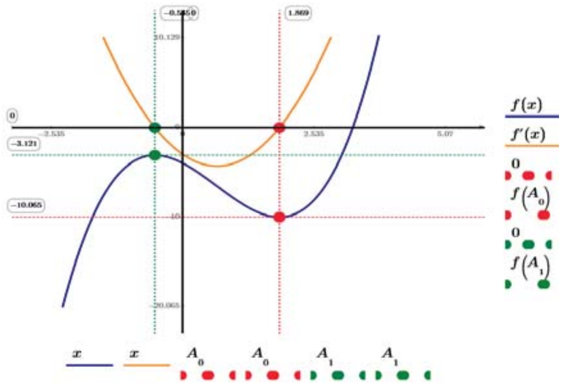
2.　Mathcadの代数課題

Mathcad は計算過程を可視化するツールとして、世界の 2,000 以上の大学で活用されており、主な技術系企業のほとんどが活用していると言われている。EXCEL よりも数学の可視化に優れていて、Word の数式よりも綺麗に数式を提示し、計算することができる。もちろん、グラフも簡単に作成できる。

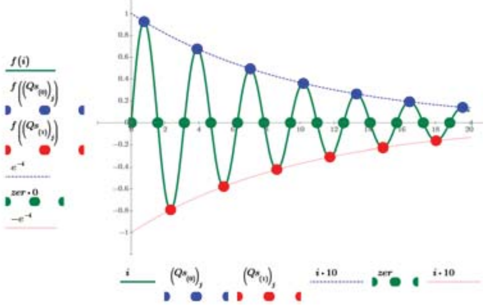
Q1-1：指数関数応答の任意の時間で接線を引き、接線が最終値と交わるまでの時間が時定数である事をグラフで示せ。(τ =2)



Q1-2：3 次関数の微分を示し、その値が 0 となる 3 次関数の最大値と最小値を求めグラフで可視化せよ。



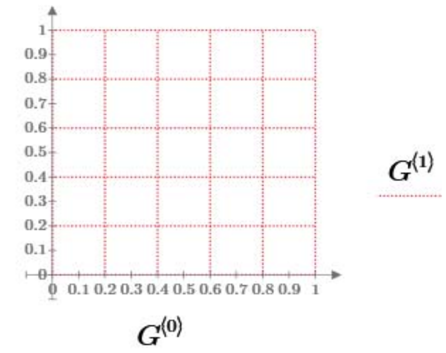
Q1-3：指数関数減衰振動など、局所的な最大値と最小値、および 0 となる根が複数ある関数の、ある区間のそれらを全て求め、グラフで可視化せよ。(Mathcad ユーザーフォーラムの課題改定版)



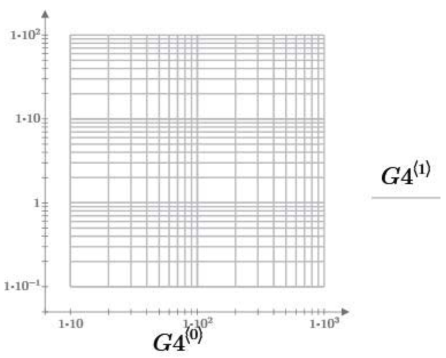
3. Mathcadのプログラミングでグリッド表示

Mathcad Prime のグラフにはグリッド線の表示機能が無い。従って x-y 両軸の最小値・最大値・間隔を引数とするグラフをプログラミングで作成し、重ねることで、代用できる。(Mathcad ユーザーフォーラムの課題改定版)

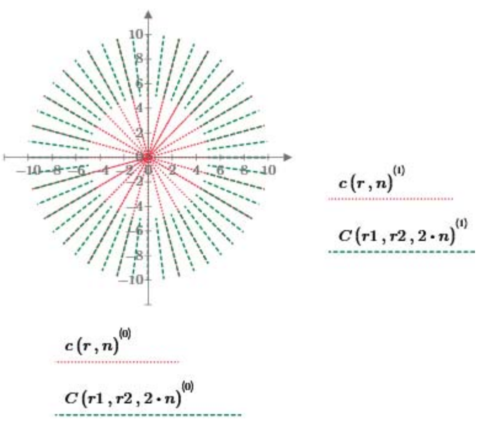
Q2-1：両軸リニアなグリッド線をグラフ化せよ。



Q2-2：両軸 log のグリッド線をグラフ化せよ。



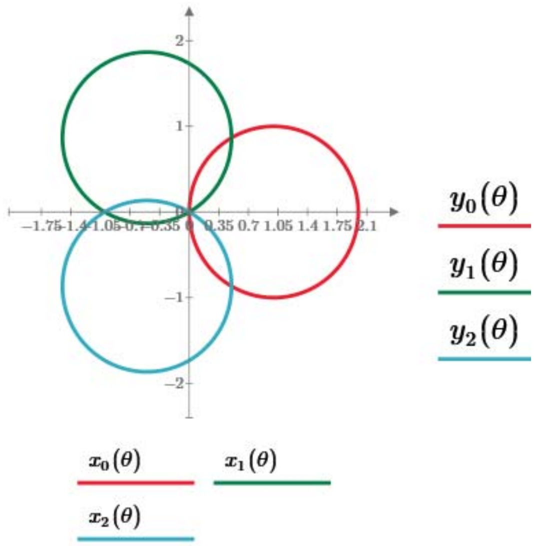
Q2-3：極座標のグリッド線をグラフ化せよ。



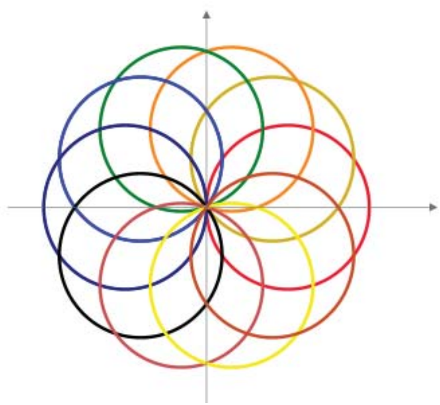
4. Mathcadのプログラミングによる円の作図問題

Mathcad のグラフでは簡単に円のグラフを作成できる以下に作図課題例を示す。

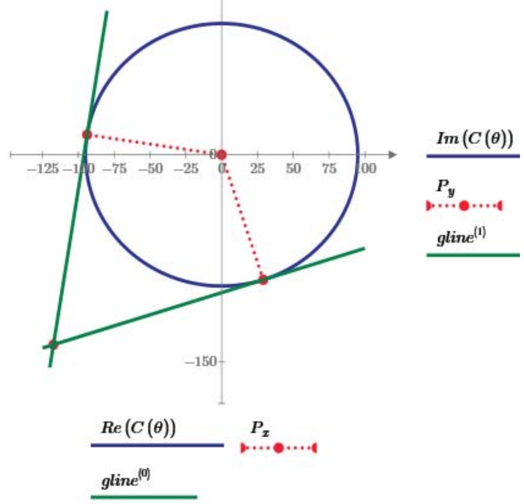
Q3-1：対称座標法の 3 点を中心とする半径 1 の円をグラフ化せよ。



Q3-2：対称な 10 点を中心とする半径 1 の円をグラフ化せよ。

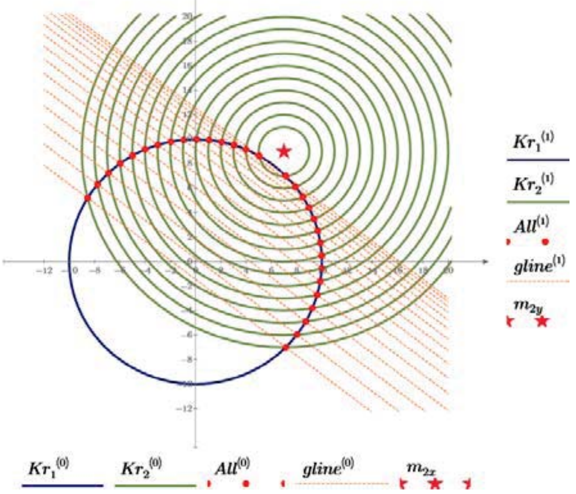


Q3-3：円の半径と円外の 1 点を指定して、円の接線をグラフ化せよ。y 軸と平行な接線も可能とする事。



Q3-4：円の半径と円外の 1 点を指定して、円外の点を中心とする円を描き、最初の円との交点を通る直線を

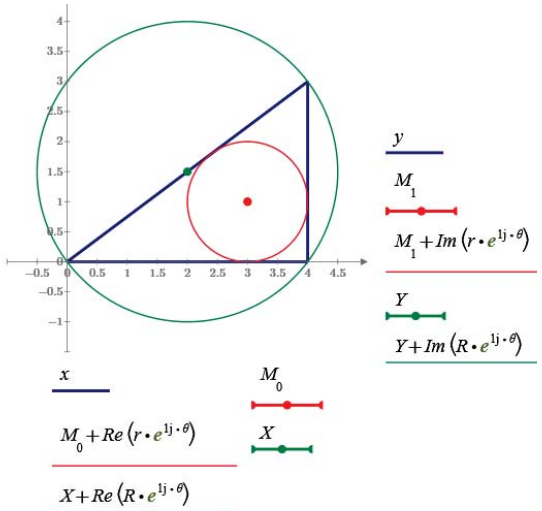
グラフ化せよ。2 つの円が接する場合も他の直線に平行な線とする事。(Mathcad ユーザーフォーラムの課題改定版)



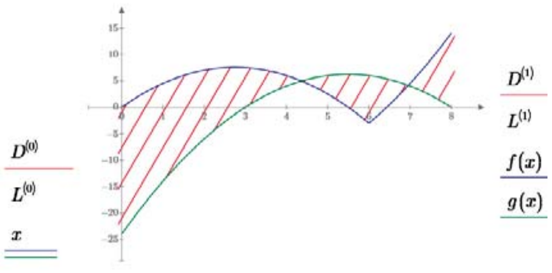
5. その他のMathcadの作図問題例

Mathcad による演算やプログラミングを必用とするその他の演習問題例を示す。

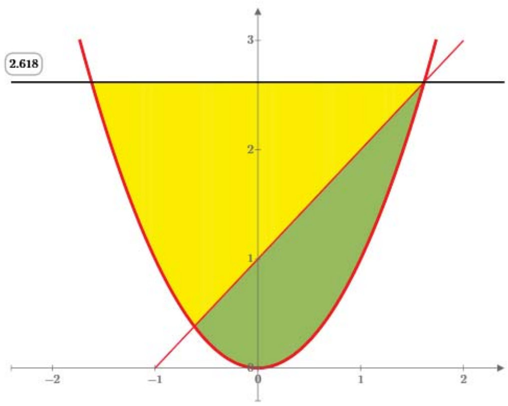
Q4-1：三角形の 3 点の座標を与え、その内接円と外接円をグラフ化せよ。辺が軸と平行な接線も処理可能とする事。(下記はピタゴラス三角形の場合)



Q4-2：2 つの関数の間をハッチングせよ。(Mathcad ユーザーフォーラムの課題改定版)



Q4-3：2 次関数と 1 次関数で囲まれた図を色分けして可視化しグラフ化せよ。(Mathcad ユーザーフォーラムの課題改定版)



6. Mathcadによる積分を用いた問題例

Mathcad による積分演算とプログラミングを用いた演習問題例を示す。

Q5-1：関数の区間長さを定積分で求めよ。

・半径 1 の半円の場合

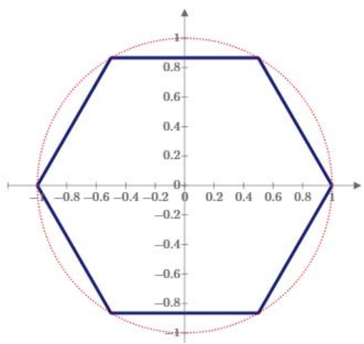
$$x^2 + y^2 = 1 \xrightarrow{solve,\, y} \begin{bmatrix} \sqrt{x-1} \cdot \sqrt{x+1} \cdot 1i \\ -\left(\sqrt{x-1} \cdot \sqrt{x+1} \cdot 1i\right) \end{bmatrix}$$

$$y(x) := \sqrt{x-1} \cdot \sqrt{x+1} \cdot 1i \qquad \int_{-1}^{1} \left(1 + \left(\frac{d}{dx} y(x)\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} dx \xrightarrow{simplify} \pi$$

・$y(x) := \sin(x)$ の場合

$$\int_{0}^{\pi} \left(1 + \left(\frac{d}{dx} y(x)\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} dx = 3.82$$

Q5-2：半径 1 の円内に正 n 角形を描き、その面積を求めよ。(下記は n=6 の場合)

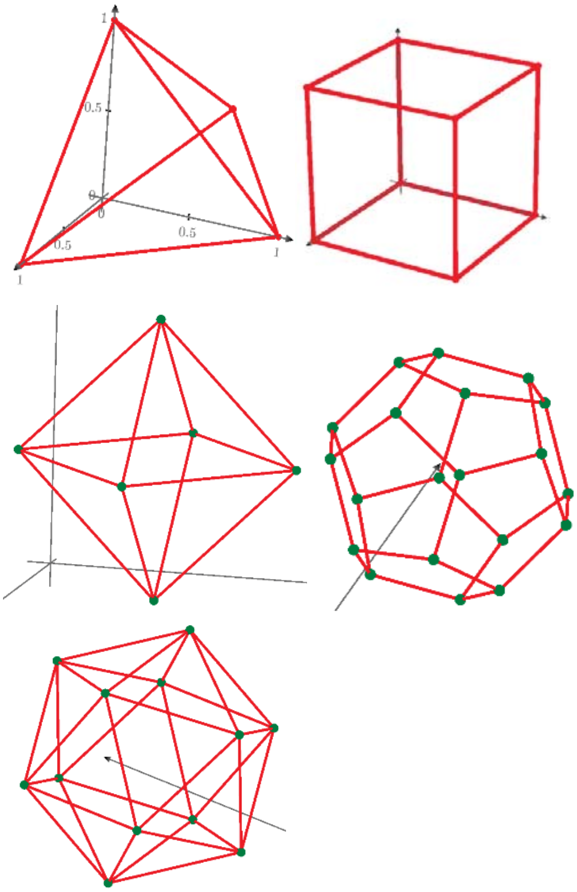


$$面積(6) \rightarrow \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2}$$

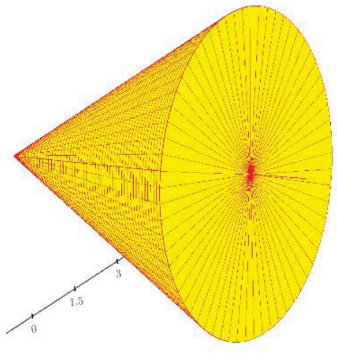
7. Mathcadによる3D作図問題例

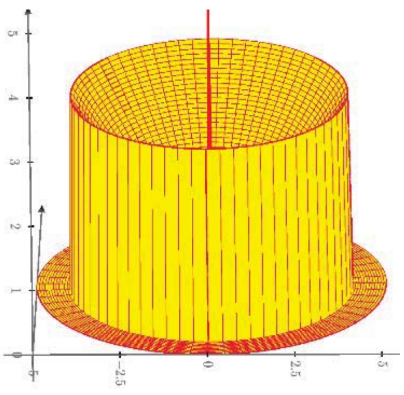
Mathcad による演算やプログラミングを必用とする 3D 作図問題の演習問題例を示す。

Q6-1：正 n 面体の xyz 座標を求めグラフ化せよ。



Q6-2：平面図形を x 軸周りと y 軸周りに回転した立体を可視化せよ。(Mathcad ユーザーフォーラムの課題改定版) (下記はピタゴラス三角形の場合)





8. Mathcadのプログラミング課題例

Mathcad のプログラミング環境を用いて、次の数値などを指定する桁数まで求めよ。

Q7-1：π を 1000 桁求めよ。

Q7-2：e を 1000 桁求めよ。

Q7-3：ピタゴラス数を 30 組求めよ。

pyta(60) =

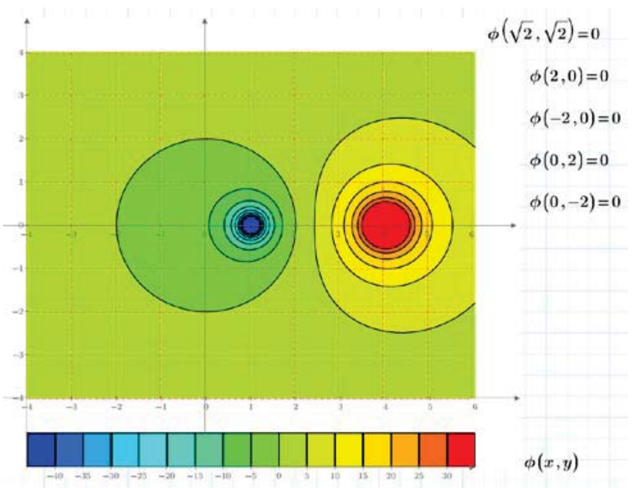
3	4	5
5	12	13
8	15	17
7	24	25
20	21	29
12	35	37
9	40	41
28	45	53
11	60	61
33	56	65
16	63	65
48	55	73
36	77	85
13	84	85
39	80	89
65	72	97
		⋮

Q7-4：200 までの素数を求めよ。

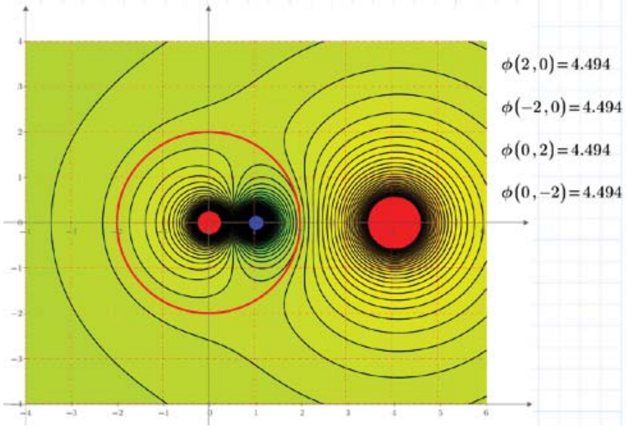
素数一覧(200) =

2	3	5	7	11	13	17	19	23	29
31	37	41	43	47	53	59	61	67	71
73	79	83	89	97	101	103	107	109	113
127	131	137	139	149	151	157	163	167	173
179	181	191	193	197	199	“計46個”	0	0	0

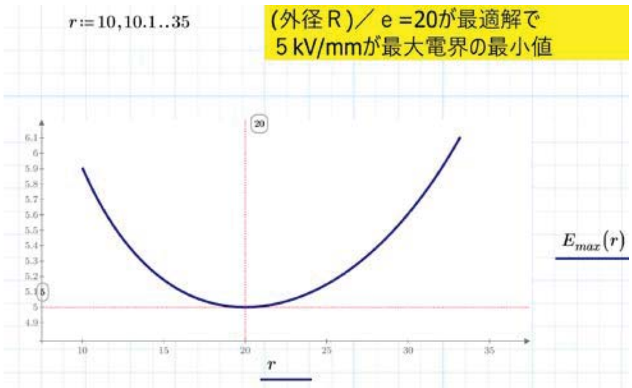
Q7-5：点電荷と接地球電極の電位分布を求め、グリッド線とともに可視化し、接地電極部分が 0 電位となる事をグラフで示せ。



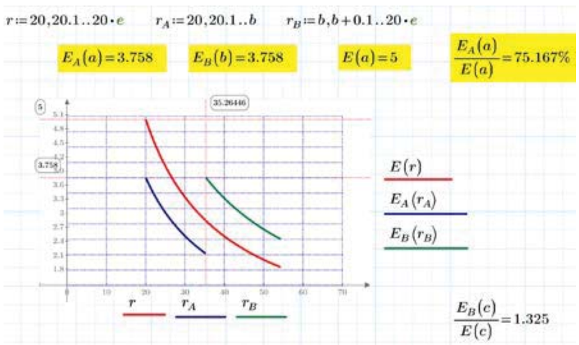
Q7-6：点電荷と絶縁球電極の電位分布を求め、グリッド線とともに可視化せよ。また、絶縁球電極の電位が各部で等しいことを確認せよ。

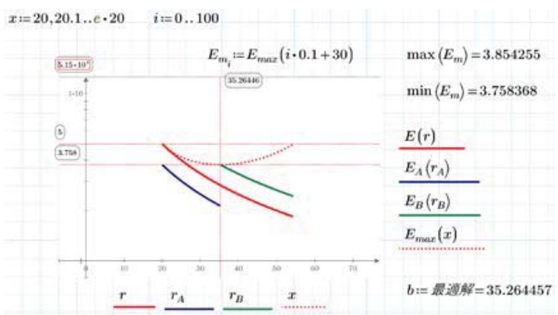


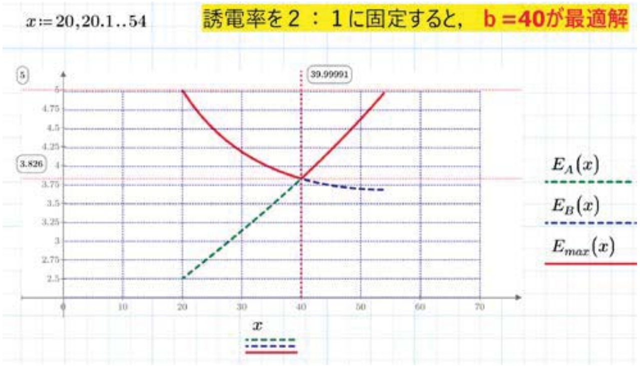
Q7-7：同軸ケーブルの絶縁部の外径が R=20e の場合、内径の最適解をグラフで可視化して求めよ。



Q7-8：二層同軸ケーブルの絶縁部の内層と外層の比誘電率が可変の場合、内層の外径の最適値を最外径が R=20e の場合についてグラフで可視化して求めよ。







9. おわりに

これからのリテラシーとして、特に工学系学生に必須なデータサイエンス系の学修項目の要である、「数学」と「プログラミング」について、最新の ICT 活用教育環境を用いた学修支援コンテンツの課題例を極一部であるが紹介した。現在は Mathcad ユーザーフォーラムの投稿を確認すれば、世界中のプロユーザーのサポートや問題解決へのヒントが簡単に得られる。

本校の情報処理センターの学修支援環境はリモートデスクトップ機能の活用により外部からも利用可能であり、LMS 上のコンテンツの学修でも Mathcad を含めて利用可能である。現在は特に、普通教室での講義においても、このリモートデスクトップ機能を活用した双方向性のあるグラフや数式の活用を各教員に推奨している。

※1：岐阜高専電気情報工学科(教授)

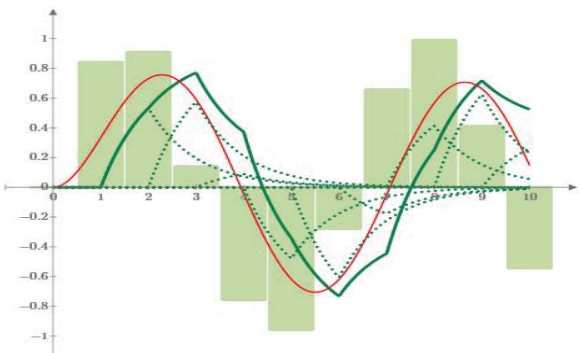
参考文献

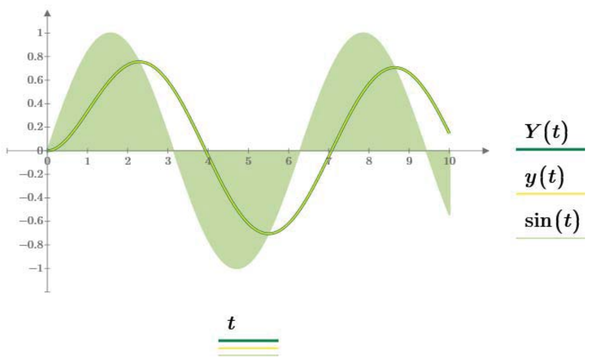
1) 総務省　若年層に対するプログラミング教育の普及推進（平成 28 年度～）
http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/kyouiku_joho-ka/jakunensou.html
2) 文部科学省平成 27 年度理工系プロフェッショナル教育推進委託事業「工学分野における理工系人材育成の在り方に関する調査研究報告書」平成 28 年 3 月千葉大学
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detAIl/__icsFiles/afieldfile/2016/06/17/1372465_01.pdf
3) 文部科学省平成 28 年度理工系プロフェッショナル教育推進委託事業「工学分野における理工系人材育成の在り方に関する調査研究報告書」平成 29 年 2 月千葉大学
http://www.meti.go.jp/policy/innovation_corp/jinzAI/pdf/170210_jinzAI02_shiryo02.pdf
4) 所　哲郎、「数学ソフトと連携した数学力とプログラミング力の学修支援コンテンツの開発(2)」、平成 30 年度岐阜工業高等専門学校 AP 成果報告書、4 章 pp.4-37-41、2019.03.
5) 高専機構教材共有ポータル「高専教材共有システム」令和元年 8 月、国立高等専門学校機構
https://slm.kosen-ac.jp/v2/users/

Q7-5 : 正弦波をサンプリングした矩形パルス応答の重ね合わせを用いて、RL 回路の直流過渡応答のみからRL 回路の交流過渡応答を求めよ。

下図は、インディシャル応答のサンプリング間隔後の差分で求めた矩形パルス（単位パルス）応答を用いて、上記のRL回路の正弦波応答問題を1秒サンプリングのデジタル波形の各サンプル値に対する応答の重ね合わせで求めている様子である。正確には0-1秒は0なのだがグラフ作成の関係でサンプリング時間を中心とする棒グラフとなっている。つまり0.5秒左にずれている。

各サンプル値の矩形パルス応答が緑の破線であり、その重ね合わせが緑の実線の応答波形となる。サンプリング間隔を0.001秒と短くして、同様に全ての矩形パルス応答を重ね合わせると、アナログ系のy(t)と等しくなる。





9. おわりに

高専機構による MCC の確定などを鑑み、高専教員が主体となって電気系の学科で電気回路の学修を行うための新しい教科書「実践的技術者のための電気電子系教科書シリーズ・電気回路 [2)]」を作成した。一方、平成 29 年度からの本校新カリキュラムの進行に伴い、本校電気情報工学科の電気回路系の科目が通年 90 分×1 コマ分削減される事となった [3)]。

本校は平成 26 年度からの文部科学省による AP 事業により、最先端の ICT 活用教育支援環境を整えつつある。しかしながら優良コンテンツが無いと宝の持ち腐れとなる [4,5)]。本稿ではアクティブラーニング課題を含めて、数学ソフトと連携した過渡現象の学修支援コンテンツの事例を紹介した。

Mathcad 等の数学ソフトを使うことで、授業で習った内容を確認したり、グラフにより可視化したり、変数を変えた場合の影響を確認したりすることが簡便に行える様になった。筆者が従来の教科書の章末問題を全て Mathcad で解いてみたところ、およそ 1/5 の時間で全ての問題を解くことができた。かつ、グラフの最大値や最小値、接線や円線図なども簡単にグラフで可視化し、定量的に数値を求める事ができた。Mathcad はシンボリックな演算も可能であるため、数式（文字式）のままでの解析も可能である。

今回編纂した教科書 [2)]は高専第 2 学年からの利用を想定しているため、電気系学科以外での電気回路の学修や大学学部での学修にも十分に耐えられる内容となっている。幸い作成した学修支援システムは、入門部分から、大学教育レベルの内容まで網羅しているので、EXCEL や iCircuit、Mathcad 等の最新の ICT 活用教育環境を利用して自習することも可能である。

与えられた問題を解くことまでに留まっていた学修から、問題を発展させて「新しい問題を自分で作ってお互いに解いてみる」というアクティブラーニングの次の段階に進むことを意識している。自身でたてた仮説的な問題を確認し、新しい知見を得るなど、発展的な学修形態へとステップアップすることが可能である。

AP による ICT 活用学修支援システムを今後とも拡張し教育資産として育てていく。優れた教育コンテンツを見いだすことが ICT 活用教育の醍醐味である。

※1 : 岐阜高専電気情報工学科(教授)

参考文献等

1) 所　哲郎、「数学ソフトと連携した電気回路の学修支援コンテンツの開発(2)」、令和元年度岐阜工業高等専門学校 AP 成果報告書、4 章 pp.4-5p、2020.03.
2) 遠山和之・稲葉成基・長谷川勝・所　哲郎著、「電気回路」、実践的技術者のための電気電子系教科書シリーズ、理工図書、pp.1-242、2018.4.24、ISBN978-4-8446-0875-2.
3) 小郷　寛他、「回路網理論」、電気学会監修.
4) 所　哲郎、「数学ソフトと連携した回路網応答の学修支援コンテンツの開発」、平成 30 年度岐阜工業高等専門学校 AP 成果報告書、pp.4-26-30、2019.03.
5) 所　哲郎、「AL 授業の実践報告(4E 情報伝送工学)」、平成 30 年度岐阜工業高等専門学校 AP 成果報告書、p.4-15、2019.03.

コンピュータシステムとLMSの授業における利用例

福永　哲也
Tetsuya FUKUNAGA

1.　はじめに

岐阜高専ではLMSとしてmoodleが導入され、すべての授業で利用可能である。また、情報処理センターには複数の演習室が用意され、各学生に対して1人1台のコンピュータを利用しての授業が行える。私が担当している電気磁気学Ⅱ、情報処理Ⅲ、電子計算機Ⅰおよびディジタルシステム基礎においてもLMSおよびコンピュータを利用した授業が行われている。電気磁気学Ⅱでは講義資料の配布に利用している。情報処理Ⅲでは講義資料の配布と課題の提出に利用している。また、画面配信も利用している。電子計算機ⅠではLMSを課題の提出に利用している。また、CPUを設計する課題があるが、この課題を解くためのExcelファイルを作成し、LMSで配布している。ディジタルシステム基礎では、講義資料の配布と課題の提出および画面配信も利用している。

ここでは、各授業での学校の情報システムの利用方法とLMSの利用例を紹介する。

2.　電気磁気学Ⅱにおける講義資料の配布

電気磁気学は本来コンピュータとは馴染まない科目であるが、私の授業ではほとんどすべての講義をスライドによって実施している。このスライドのPDFファイルをLMSに置くことによって、学生はいつでも講義資料を利用することができる。なお、学生がファイルを利用できるようになるタイミングは年度当初は授業後であったが、学生から「予習をしたり授業中に参照したいので、授業前にしてほしい。」との要望があり、年度途中からは授業前にアップロードしている。スライドの中には復習の問題などが多くあるが、授業前の資料には問題の解答のページは含まれておらず、授業後にPDFファイルを変更している。表１は講義資料の平均ページ数を示す。電気磁気学Ⅱでは平均４５ページの資料を配布している。

3.　情報処理Ⅲ

情報処理Ⅲは情報処理センターの演習室での授業となる。授業は前半がスライドを利用した前回の復習とアルゴリズムの説明となる。この時、画面配信システムを利用する。後半は、課題に対するプログラミングとなる。学生は自分のＰＣにインストールされているＣ言語環境で課題に取り組む。課題の提出期限は次の授業の始まる前までとなっており、この課題の提出にはLMSを利用している。LMSを利用することで、学生は家でも課題に取り組み提出することができる。講義における資料は全てLMSから参照することができる。

3-1.　LMSによる講義資料の配布と課題の実施

授業の始まる前には問題の解答や課題のないPDFファイルを表示している。また、授業中にスライドによる説明が終わると、PDFファイルを変更して課題等の含まれた講義資料が参照できる。図１はLMS上でPDFファイルの表示／非表示を切り替える画面を示す。

課題もLMSによって管理されている。スライドによる説明が終わると、課題のページをLMS上に表示して学生は課題の提出ができるようになる。早い学生は授業中に課題を提出している。また、課題を進める段階で、同じ授業内にスライドによって説明した内容をPDFファイルで確認しながら課題を進めている学生が多く見られる。

3-2.　画面の配信

授業の前半ではスライドによるアルゴリズムの説明を行う。この時、画面配信システムを利用して教員の画面を学生のモニタに配信している。スライドはパワーポイントで作って有り、配信時には教員画面でスライドショーを実行すると同じ画面が学生に配信されており、説明がスムーズに進む。また、マウスポインタ等も同じ画面が学生に配信されるため、スクリーンでレーザーポインタを使うような感覚で画面を表示することができ、学生の集中力も高まっていると考えられる。この画面配信した講義資料は同じものがLMS

表１．１授業でのPDFファイル平均配布ページ数

科目名	PDFページ数
電気磁気学Ⅱ	45
情報処理Ⅲ	66
電子計算機Ⅰ	60
ディジタルシステム基礎	PDFでない

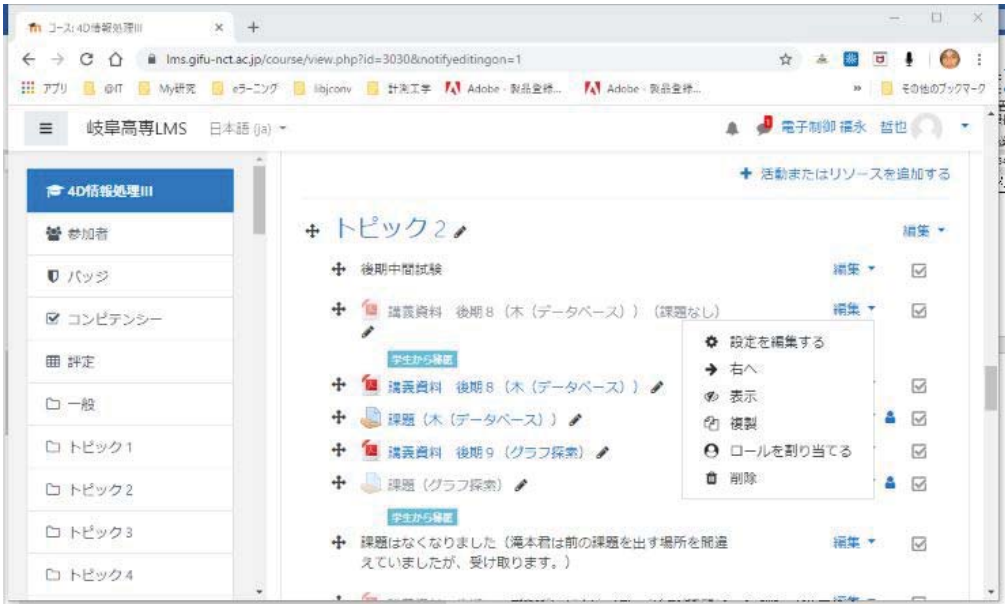


図 1. LMS 上での表示／非表示の切り替え

に表示されているため、課題を進める時に利用している学生が多くみられる。

4. 電子計算機 I でのLMSの利用

講義資料の配布は他の科目と同様に、講義のスライドを PDF 化したものを自由に表示・ダウンロードできるようになっている。また、電子計算機 I では CPU を設計する課題を行うが、この課題用の CPU の設計と設計した CPU におけるアセンブラのシミュレーションが行える Excel ファイルを開発した [1]。 そこで、この Excel ファイルの配布も LMS で行い、課題の提出は手書きのレポートと Excel ファイルであるが、ファイルの提出は LMS で管理している。

5. ディジタルシステム基礎

ディジタルシステム基礎は専攻科の科目であり、情報処理センターで行っている。この科目では FPGA を学生に貸し出し、学生が自ら回路設計を行う。授業でははほとんどすべての資料が LMS 上にあり、これを画面配信で学生に説明し、その後設計課題に取り組むスタイルをとっている。

5-1. LMSによる講義資料の配布と課題等の実施

授業では LMS 上の資料を基に画面配信により講義が進められる。この時、画面の配信システムを利用している。また、講義資料を基に説明しており、その資料も LMS 上にあるため、課題を進める段階でも資料を参照できる。その後、簡単な設計課題に取り組むが、時間はタイマーで測定しており、大体２０分くらいで課題を完成する。 1 回の授業の中で、説明と課題を２～３回繰り返す。また、説明の後で練習問題を解くこともあり、この時は LMS の小テスト機能を利用して、その場で点数と順位がわかるようになっている。

5-2. 画面の配信

LMS 上の資料を説明しながら、その画面を配信しているスタイルととっているため、学生は課題実施時に再度資料を確認することができる。

6. 今後の課題と展望

私の担当している、電気磁気学Ⅱ、情報処理Ⅲ、電子計算機 I 、ディジタルシステム基礎では LMS を利用している。科目の中にはコンピュータをよく利用する科目とそうでない科目があるが、LMS に講義資料を置くことで、学生がいつでも講義資料を見て勉強ができうる。また、LMS は表示／非表示をその場で（授業中でも）切り替えたりできるため、学生が余計な部分に触れることなく、現在の内容に集中できるメリットもある。今後は練習問題などを充実して、学生が自分の理解度や不得意部分を自分で把握して授業に役立てられる環境を整備する必要がある。

参考文献

1) 福永哲也：電子計算機のためのExcelを用いたCPUシミュレータの開発と課題の実施, 工学教育, 67-6, pp. 68-72, 2019