電気回路基礎項目の到達度調査

青 木 博 夫*

The Investigation into Comprehension Degree of Fundamentals of Electric Circuits

AOKI Hiroo

キーワード：交流回路，定理法則，複素数計算，ベクトル図

1．はじめに

電気回路は，電気電子系学科においては，電磁気学と並んで重要基礎科目の１つとしてあげられており，これらの理解力が不足していれば，電子回路等の発展した科目の習得が困難となる．電気工学科では電気回路と称する科目を２，３，４年の３ヵ年で合計６単位を実施している．なお直流回路に関しては，１年次の電気基礎で実施している．

筆者は現在電気回路２，３年の４単位を担当しているが，過去に電子回路を担当した経験から電気回路の基礎項目が定着していない学生が何人かおり，基礎項目の理解不足が電子回路の理解を妨げている一つの原因になっていることに気が付いていた．また現在の電子回路等の担当者からもそのことが指摘されている．そこで，電気回路中の基礎項目として判断した項目について，２，３，４年の各学年で抜き打ち的に同一問題のテストを実施し，定着度を調査したので報告する．

2．調査対象と設定問題

調査対象は表１に示すように，電気工学科２，３，４年全員である．調査日についても表１に示す．電気回路は基礎科目であるが，その範囲は比較的多岐にわたっている(1)．しかしその中でもさらに基礎として考えられる項目を選び出した．これは主に２年次に修得する内容であり，大きく分けて２つの項目とした．その１つは，ベクトル記号法を使って素子が２個までの簡単な回路の電圧，電流，インピーダンス，位相の算出であり，２つ目は線形回路解析で必要な各種定理法則の使用についてである．

問１から問６が第１の項目に相当するものである．問１では図１のＲＣ並列回路の合成インピーダンスを求めるものである．過去の筆者の経験から，抵抗とコイルからなるＲＬ直列の合成インピーダンスの算出はほぼ間違えなくできる学生も，ＲＣ並列回路の算出では間違えるケースが多かったのでまずこの問題を設定した．次に問２は，並列回路の電流を求める問題である．次に問３では，各部の電圧電流のベクトル図（フェザー図）を描き，位相関係を理解しているかを見る．

問４，問６はＲＣ直列回路でのＲまたはＣの電圧の計算ができるかを見る問題である．問５では，複素インピーダンスからその大きさを求める問題である．これは分数形になるが有理化する必要がないことに気が付けば簡単に解ける問題である．

問７から問９までが第２の項目に相当するものである．電気回路の定理法則は，最も基本的なオームの法則から始まって，キルヒホッフの法則，重ねの理，鳳-テブナンの定理，ノートンの定理，帆足-ミルマンの定理，相反の定理，補償の定理とたくさんの種類があるが，今回はオームの法則を除いて，次いで使用頻度が高く重要と思われる順にキルヒホッフの法則，重ねの理，鳳-テブナンの定理を取り上げ，それらの理解度を同一回路で調べた．ここでは基本的な使用法を調べるため，リアクタンスを除いた抵抗から成っている回路とした．

これらの問題を以下に掲げる．

表１　調査対象と調査日

学年	2年	3年	4年
人数	38 人	35 人	37 人
調査日	H15.2.13	H14.10.31	H14.10.21

*　電気工学科教授

原稿受付　2003 年５月１日

問1．図1の合成インピーダンス$\dot{Z}$を求めよ
問2．図1の$\dot{I}_R$を求めよ．
問3．図1の$\dot{E}$，$\dot{I}$，$\dot{I}_C$，$\dot{I}_R$のベクトル図を描け．
問4．図2の$\dot{V}_R$を求めよ．
問5．図2のV_Rを求めよ．
問6．図3の$\dot{V}_C$を求めよ
問7．図4の回路でR3に流れる電流をキルヒホッフの法則を用いて求めよ．
問8．図4の回路でR3に流れる電流を重ねの理を用いて求めよ．
問9．図4の回路でR3に流れる電流をテブナンの定理を用いて求めよ．

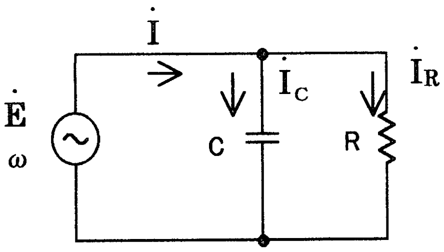

図1 ＲＣ並列回路

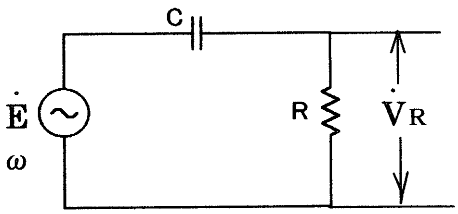

図2 ＲＣ直列回路（微分回路）

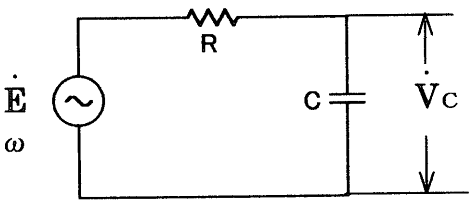

図3 ＲＣ直列回路（積分回路）

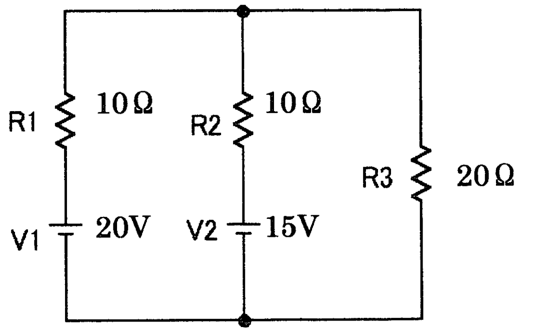

図4 定理法則用の回路

3．解答に対する分析

図5に問1から問6までの正解率を示す．全般的に2年次に正解率が低いものも3年次には急激に向上していることが分かる．しかしながら，4年次にはそれほどの改善が見られない．

問1では正解は，式（1）のようになるが式（2）もまた正解である．しかしながら式（2）ように虚数単位jを分母から分子に移すと式（1）のようには式がうまく簡単化できない．電気回路の計算においては，計算を正しく速く行うための，いわゆる式の計算上のコツがあるが，これもその一つである．これについても授業中に説明しているのであるが身に付いていないものが多かった．

$$Z=\frac{R\cdot\dfrac{1}{j\omega C}}{R+\dfrac{1}{j\omega C}}=\frac{R}{1+j\omega CR} \quad \cdots(1)$$

$$Z=\frac{R\cdot\left(-j\dfrac{1}{\omega C}\right)}{R-j\dfrac{1}{\omega C}} \quad \cdots(2)$$

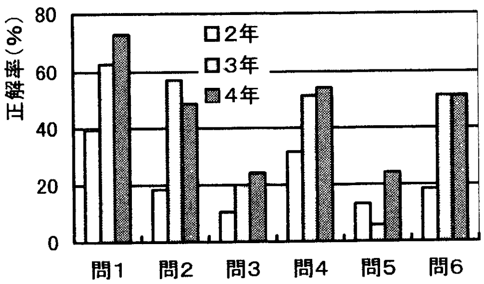

図5 交流回路の正解率

今回の問題にはなかったが，例えば次ような３素子のみからなる簡単な例の場合でも計算自体には間違いがなくとも，手順方法が異なれば結果を求めるまでの過程に雲泥の差が出る例である．図６において$\dot{I}_R$を求める場合，まず全インピーダンスで電源電圧$\dot{E}$を割り全電流$\dot{I}$を求め，それをＲとＣとに分流させることにより求まるが，初めに式（３）の段階で式（４）のように有利化してしまうと，次の段階で極端に計算が難しくなってしまう．式（５）に式（３）を代入し，式を簡単化できることに気が付けば，$\dot{I}_R$は容易に求めることができる．初心者は，この先を読んだ計算ができなく，むやみに膨大な計算を行い，結局，解を求めることができないケースが多い．

式（６）から（８）は問１の間違いの例である．式（６）はｊを使うことを全く忘れているもの，式（７）は式（２）に近いのもであるが，ｊの符号を間違えているケースである．式（８）のケースが最も多かったが，これはコンデンサのリアクタンスはｊωＣの逆数になるということを理解していないケースである．

問２では，並列回路の性質を理解していれば単に$\dot{E}$をＲで除することで求まるのであるが，問１に比べて

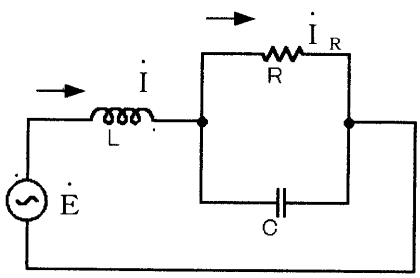

図６　ＲＬＣ３素子直並列回路

$$I = \frac{E}{j\varpi L + \dfrac{R\times\dfrac{1}{j\omega C}}{R+\dfrac{1}{j\omega C}}} = \frac{\dot{E}}{j\omega L + \dfrac{R}{1+j\omega C}} \cdots(3)$$

$$= \dot{E}\frac{(1+j\omega C)(R-\omega^2 LC - j\omega L)}{(\mathrm{R}-\omega^2 LC)^2+(\omega L)^2}\cdots(4)$$

$$I_R = \dot{I}\frac{\dfrac{1}{\mathrm{j}\,\omega\mathrm{C}}}{\mathrm{R}+\dfrac{1}{\mathrm{j}\,\omega C}} = \dot{\mathrm{I}}\frac{1}{1+\mathrm{j}\omega CR}\cdots(5)$$

$$Z = \frac{R\cdot\dfrac{1}{\omega C}}{R+\dfrac{1}{\omega C}} \cdots(6)$$

$$Z = \frac{R\cdot j\dfrac{1}{\omega C}}{R+j\dfrac{1}{\omega C}} \cdots(7)$$

$$\dot{Z} = \frac{-R\cdot j\omega C}{R-j\omega C} \cdots(8)$$

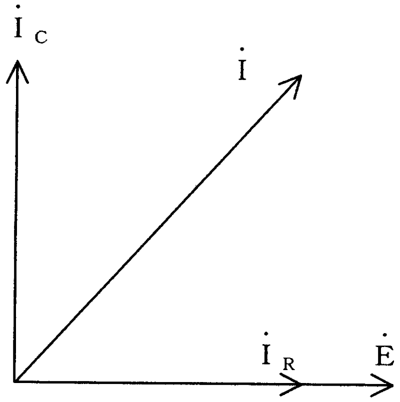

図７　正しいベクトル図

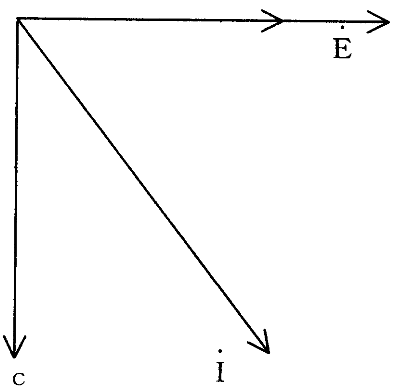

図８　位相を間違ったベクトル図

意外に正解率が低い．間違いの中味は，全電流を算出して，これをＣとＲの枝路に分流して求めようとして式の計算がうまく行かずにいるケースが多かった．

問３のベクトル図では正解率がかなり低い．正解は図７であるがＣの電流を逆に理解していて，図８のように解答したものも多かった．図８のように解答した人数は，２年で５人，３年で12人，４年で17人であった．リアクタンスベクトルと電流ベクトルは逆位相になるが，このことを混同して理解している節がある．

問４のような直列回路では，式（９）のようにインピーダンスの比で電圧は分割されることが分かっていれば簡単に求められるのであるが，電流を求めてからその電流をＲに掛けて求めようとしたものもかなりいた．この問題もＣのリアクタンスが分かっていなければできない問題である．

$$V_R = E \cdot \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$= \dot{E}\frac{j\omega CR}{1 + j\omega CR} \quad \cdots(9)$$

問５はベクトルの大きさを求める問題であり，正解は式（10）のようになる．ベクトルの大きさは実数部と虚数部のそれぞれの２乗の和の平方根であることは理解しているようであった．しかしこの場合のように分数の形をしているものは，分母分子で別々に大きさを求めてよいことをほとんどの学生が理解しておらず，式（９）を式（11）のように有理化してしまい，計算で混乱しているものが多かった．

$$V_R = E \cdot \frac{\omega CR}{\sqrt{1 + (\omega CR)^2}} \quad \cdots(10)$$

$$V_R = E\frac{j\omega CR(1 - j\omega CR)}{1 + (\omega CR)^2} \quad \cdots(11)$$

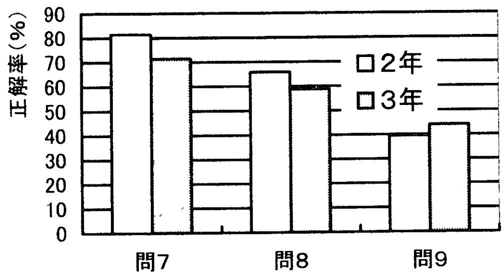

図9 定理法則に関する正解率

問６は問５と同様の傾向を示した．ここで問１から問６まで全問正解した人数は２年で０人，３年で２人，４年で５人となり，学年とともに増加しておりクラス全体としては力がついていることが分かる．

定理法則に関する正解率を図９に示す．問７から問９については２，３学年のみの実施であったが，学年による差はわずかであった．むしろ問８と問９では３年で若干低下する傾向にあった．この原因はこの試験の実施時期が，２学年において各種法則を学習した直後であったため記憶に新しいからと思われる．

各問題の正解率の違いでは，キルヒホッフの法則が70%以上あり最も高く，次いで重ねの理が60%であり，鳳-テブナンの定理では40%前後に低下している．

テブナンの定理では，解放端電圧の算出で間違うケースが多かった．この３問で全問正解した人数は２年で10人，３年で８人であり先の６問の正解者よりは多かった．また正解率と同じように，２年の方が３年よりよい結果を示した．

４．おわりに

当初予想していたように，ＲＣ並列または直列回路の計算が苦手な学生が多いことが判明した．一方代表的な定理法則に関しては，抵抗のみの回路においては算出できる者も多いことも分かった．

電気回路において直流回路では大きさのみを取り扱えばよかったのに対して，交流回路では最低大きさの他に周波数，位相も考慮しなければならないところに難しさの原因がある．また普段使うことのない虚数も取り入れていかなければならないことも難しさの原因の一つである．

学習の方法としては，理論を学んだ後は，数多くの演習を行い身に付ける必要がある．また計算を間違えなく行ういわゆる計算のノウハウのようなものも存在するので，それについても教える必要がある．

参 考 文 献

1）長野工業高等専門学校 平成14年度電気工学科シラバス， p111, p117, p129