

R C 過渡現象から微小容量を決定するオペアンプ利用実験

An experiment using operational amplifier to determine small capacitance from RC transient phenomena

千葉大教育¹ 千葉大院教育² ◦加藤徹也¹ 森重比奈² 松澤孝幸¹ 東崎健一¹

Chiba Univ., ◦Tetsuya Kato, Hina Morishige, Takayuki Matsuzawa, Ken-ichi Tozaki

E-mail: tkato@faculty.chiba-u.jp

抵抗 R とコンデンサー C からなる回路を構成すると、一定電圧の外部電源によりコンデンサーを充電した後、電源を外すと指数関数的に極板電荷が減衰していく。この過渡現象における時定数は抵抗値 R とコンデンサー容量 C の積 RC が時定数となる。時間とともに変化する極板間電圧を測定し、電圧の時間変化のグラフを作成すると、時定数を実験的に決定することができるので、これを用いたコンデンサー容量の決定が可能である。電圧計の値を次々に記録する従来の方法では、実際の実験には RC として数 10 秒以上の時間が必要で、実験時間もある程度かかることになるが、デジタル電圧計を使い、スマートフォン等で 5 分程度のあいだ動画撮影をすれば、ひとりで実験を進めた後で、5 秒間隔の測定値を実験後にグラフ化することも容易である。この実験では、手軽に素早い時間変化を測定し、それを正確に分析することがたいへん容易にできる。これを実施したところ、学生からは実験方法がスマートな手法として大変好評であった。特に、時定数が小さい現象を素早く処理することに、彼らが認めた意義があると考えられる。

しかしながら、時定数を小さくすることには実験原理上の課題がある。実際には $R=10\text{M}\Omega$ 、 $C=1\mu\text{F}$ で $RC=10$ 秒の実験を行ったが、この抵抗値はデジタルマルチメーター (DMM) の標準的な内部抵抗と同じであり、電圧測定時にそのまま C に (すなわち R に) DMM を並列接続すると、その内部抵抗により、実質の抵抗は半減し、時定数も半分になってしまう。 C を数十倍増やし、その分 R を数十分の 1 に減らす方策もあるが、微小容量を対象とするためには、内部抵抗が無限大の理想電圧計が必要となる。

そこでわれわれは、入力抵抗が極めて大きな J-FET 型オペアンプを使った電圧フォロア回路を挿入する形で、通常の DMM を用いて仮想的な理想電圧計を簡単に構成した。オペアンプには代表的な TL081CP (入力抵抗 $10^{12}\Omega$) を利用し、二本の 9V 乾電池を正負の両電源として構成した。下記(a)のオペアンプを(b)の小回路の中で動作するようにして(c)の P1-P2 間と G1-G2 間に挿入することで、通常の DMM を内部抵抗 r が無限大の理想電圧計にした。

