工学計測 I
(4) 電流（電子数）と電圧（電位）の計測原理

高田潤一
takada@ide.titech.ac.jp

2010 年 4 月 23 日

1　電流に働く力の利用

電磁気学の講義では詳細な説明は省いたが，磁界がある場所に電流を流すと力が生じる．導線のそばに方位磁針を置き，電流を流すと磁針の向きが回転する現象は中学校の実験で体験したと思うが，これは 1820 年にエルステッドが初めて発見したと言われている．数式で表すと，

$$\boldsymbol{F} = \int_l I \mathrm{d}\boldsymbol{l} \times \boldsymbol{B} \tag{1}$$

と書くことができる．

この原理を用いたのが，機械式の電流計・電圧計である．可動コイル型電流計は，磁石の間に針を取り付けたコイルが置かれており，そこに電流を流すことによって力が働いて針が動く．

電流計は短絡部に挿入するため内部抵抗が小さいほどよく，内部抵抗が大きくなると電圧降下が発生して電流が変化してしまう．

電圧計は電流計に大きな直列抵抗を接続することで実現され，この直列抵抗に対しオームの法則を用いて電流値を電圧値に換算する．電圧計は開放部に挿入するため内部抵抗が大きいほどよく，内部抵抗が小さくなると電流が大きくなり電圧降下が発生してしまう．

このように，直接測定を行うと測定器自体の抵抗値で回路の動作が変化してしまうため，高精度の測定には検流計と呼ばれる非常に高感度な電流計を使用し，基準電圧を精密な可変抵抗で分圧したものを測定対象電圧と比較する方法がとられる．電圧に差がなくなれば検流計の針がゼロを示す．このときには，測定器に電流が全く流れないため，電圧降下を発生させずに電圧を測定することが可能である．

2　交流の測定〜整流

機械式の電流・電圧計では，直流しか測定できない．したがって，交流電流・電圧を測定するためには，整流回路を使用する．整流回路には，一方向にしか電流を流さないダイオードが使用され，1 本で半波整流，もしくは 4 本で全波整流を行う．また，整流後に低域通過フィルタ（通常 CR 回路）でリプルを抑える．

3　AD 変換器

AD 変換器とは，標本化と量子化を電子的に行い，アナログ信号をディジタルのデータ列に変換する回路である．逆の機能をもつのが DA 変換器である．量子化はデータ解析の講義では説明していないが，信号の値を離散的なレベルに割り当てることを指す．したがって，入力した値と離散化された値の間に誤差が発生し，これを量子化誤差という．

AD 変換器には様々な種類があるが，原理を理解するためにもっとも簡単な逐次比較型 AD 変換器を説明する．この変換器では，内部の DA 変換器でディジタル値の最上位ビットから順に電圧を発生させて，この値と入力値とを逐次的に比較することでディジタル値を確定する．

DA 変換器にも様々な種類があるが，標準的な梯子型 DA 変換器について説明する．演算増幅器入力の仮想接地を利用し，各ビットのオンオフによらず同じ電流が流れるように設定し，ビットが 1 になっている電流を合算して出力する．

4　アナログオシロスコープ

電圧の時間波形を測定するのにオシロスコープがよく使用される．オシロスコープにもアナログ，ディジタルの 2 種類があり，ディジタルオシロスコープは AD 変換器でディジタルに変換したあとはすべてソフトウェアにより処理を行っている．これに対して，アナログのオシロスコープでは，ブラウン管 (CRT) の横軸にノコギリ波を入力して時間軸上の走査を行い，縦軸に観測したい電圧を印加することで，画面に時間波形を表示する．ブラウン管は，最近でこそ下火になったが，テレビ受像機でも広く用いられていた真空電子管の一種である．陰極を加熱して発生した陽極で加速し，熱電子をコイルによる磁界で収束させてから電極により電圧を印加してビームの向きを変形させる．画像面に塗布した蛍光塗料に電子が衝突することにより発光する．

5　光電子倍増管

非常に微弱な電流（電荷）を測定する方法として，光電子倍増管がある．ノーベル物理学賞を受賞した小柴昌俊先生がニュートリノの発見に際して採用した検出器にも使用されている．

光電子倍増管も真空電子管の一種である．受講面内部には光電面と呼ばれる光電効果を起こす材料が塗布されており，閾値以下の波長を持つ光子が衝突すると電子を放出する．電子はブラウン管同様に集束電極（陽極）に収束され，電子倍増部に導かれる．電子倍増部では，電子が壁面に衝突するたびに多数の電子を放出する電子倍増を繰り返して増幅を行い，最後には数十万から数千万倍に増幅される．電子倍増部の出口に陽極が設けられこれらの電子が電流として取り出される．

参考文献

[1] 大浦宣徳，関根松夫，新しい電気・電子計測，昭晃堂，2006.

[2] 中本高道，山中高夫，電気電子計測，電子情報工学ニューコース 2，培風館，2009.

[3] Oscilloscope - Wikipedia. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Oscilloscope

[4] 浜松ホトニクス，光電子倍増管 (PMT) について．[Online]. Available: http://jp.hamamatsu.com/resources/products/etd/jpn/html/pmt_001.html