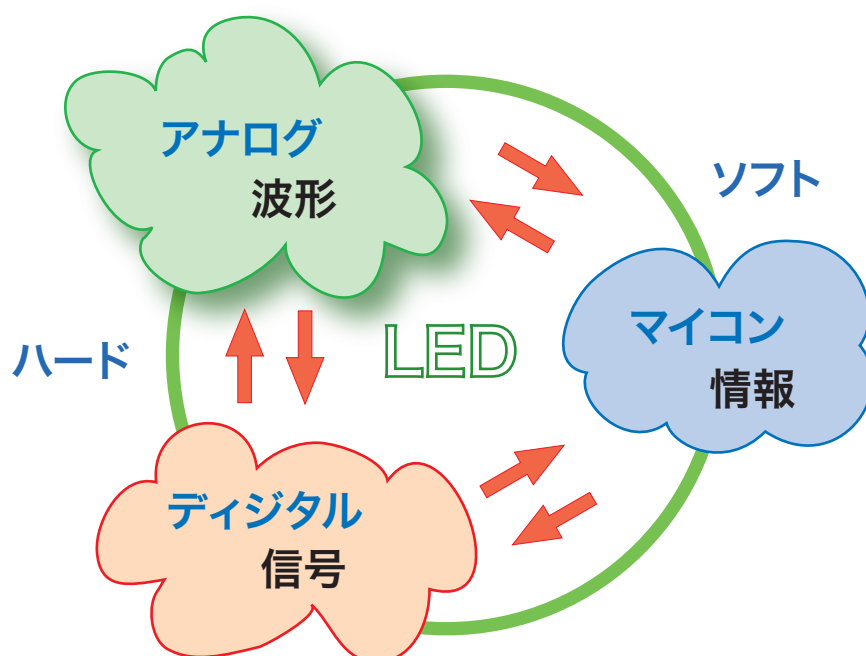


LED を使いこなそう・実験ノート

－ アナログ編 －



2012

徳島大学開放実践センター
公開講座

川上 博

はじめに

このノートは、公開講座「LED（発光ダイオード）を使いこなそう：アナログ編」の講義ノートです。一応、このノートを読めば他の資料なしで実験内容が理解できるように基礎的な事柄を解説しました。

この講座の具体的な実験内容は、趣味の電子工作 + α といったところですが、5つほど LED に関連したテーマを決めて実験し、その実験に使用した電子回路を解説しました。説明には、使った回路の機能を数式やグラフを使って解析する方法をとりました。

そのため、数式やグラフは初めてという受講生の方にはチンプンカンプンかも知れません。でも、気になさらないでください。理解の形態や程度は様々です。そして、どんな分野にも「ときめきのドラマ」があるものです。それに気づけば、分からない部分は適当に読み飛ばせばいいのです。いつか「ああそういうことか」と科学のおもしろさと平凡さにときめくことでしょう。

このノートは5つの章と1つの付録からできています。簡単に紹介しておきましょう。

第1章 LED の点灯 点灯の基本回路をつくる実験です。これは、LED と抵抗の直列回路にほかなりません。発光ダイオードを使う時はいつも抵抗さんと一緒に基本というわけです。

第2章 LED の消灯 電池と LED の基本回路の間にスイッチを入れる実験です。スイッチは機械式のものトランジスタを使った電子式のものを実験します。

第3章 LED の点滅 スwitchの入れたり、切ったりを繰り返すとよいのですが、これは回路で実現します。それが方形波発振器です。そのためにオペアンプを使います。時間的にリズムをつくることは直流回路だけではできません。そこで登場するのがキャパシタ（コンデンサともいう）です。キャパシタは電気の素「電荷」を蓄積する素子で、蓄積には時間がかかることを使ってリズムをつくることを学びます。

第4章 LED の調光 調光とは「明るさを調整する」ことです。明るくするには LED により多くの電流を流し、暗くするには電流を少なくするとよいのですが…。LED の特性で折れ曲がり付近を使うのは動作点が変わりやすく調整が難しいことが予想できます。そこで、別の方法がこの章では提案されています。PWM の方法です。この方法は、点滅速度をはやくして我々の目には点滅を分からなくしておいて、光っている短い時間と消えている短い時間の比率を変える方法です。

第5章 1.5 V で LED を点灯する 低い電圧の電池で LED を点灯するには、電圧を高くする回路が必要です。そのためにコイル（インダクタという）を使います。実はインダクタも直流回路では使わなかった回路素子です。磁気エネルギーを蓄える素子です。この章ではスイッチとインダクタを組み合わせた昇圧回路を解析しました。

ということで、LED を使いこなそう：アナログ編では、

LED の基本点灯回路（LED + 抵抗） + 電源

の2つのどちらかを目的にしたがって色々変えて実験していることが分かります。そして、それらの各要素が電子回路の基礎となっているように選択してあります。ですから、この講座を終わった時点で他の電子回路をみたときに、ああこれはあれだな、と自分で考えることができるようになってほしいと思います。

付録には、電気回路・電子回路がはじめてという方に回路の解説を入れました。ただ、これは現時点では未完成です。式を幾何学的に説明する手法を考えたのですが、いかんせん満足のゆく程度まで話をまとめるにはまだまだ時間がかかりそうです。私の最も楽しい時間はこのような「話をつくる」ためにボーとしている時間なのですが、今回は本文に時間を取られて付録がおろそかになってしまいました。

あ、そうそう。この講座はアナログ編となっていますが、以上の内容からすると「デジタル回路のためのアナログ技術」解説となっています。つまり、すべてを情報伝達という観点で見ると、連続波形を扱う本当のアナログ技術ではなく、どちらかといえば離散波形を扱う技術を解説しているからです。これはまた、秋冬講座「LEDを使いこなそう：デジタル編」への橋渡しともなっています。そしてその先には、「マイコンをはじめよう」といった講座も予定されています。興味に合わせて聴講いただければ幸いです。

最後に、みなさんはどんな動機でこの講座を受講されたのでしょうか。そして、その目的に対して何か受講して得ることがあったのでしょうか。この講座を長続きさせるためにも、ぜひご意見をお聞かせください。

それでは、よいご旅行を

2012年5月26日

π と i を掛け合わせた数で e を累乗し、1 を足すと 0 となる。

私はもう一度博士のメモを見直した。果ての果てまで循環する数と、決して正体を見せない虚ろな数が、簡潔な軌跡を描き、一点に着地する。どこにも円は登場しないのに、予期せぬ宙から π が e の元に舞い下り、恥ずかしがり屋の i と握手する。彼らは身を寄せ合い、じっと息をひそめているのだが、一人の人間が1つだけ足し算をした途端、何の前触れもなく世界が転換する。すべてが0に抱き留められる。

オイラーの公式は暗闇に光る一筋の流星だった。暗黒の洞窟に刻まれた詩の一行だった。そこに込められた美しさに打たれながら、私はメモ用紙を定期入れに仕舞った。

小川洋子著：博士の愛した数式，新潮社，2003

目次

第 1 章	LED の点灯：基本回路をつくる	1
1.1	実験 A1：LED 点灯の基本回路	1
1.1.1	回路図	1
1.1.2	回路部品とブレッド・ボード	2
1.1.3	部品（回路素子）を配線する	2
1.2	LED の電気特性を実測する	4
1.2.1	LED の回路素子としての記法	4
1.3	基本回路の解析	6
1.3.1	2つの関係式	6
1.3.2	消費電力	8
1.4	LED の直列接続と並列接続	9
1.4.1	LED の直列接続	9
1.4.2	LED の並列接続	10
1.4.3	3つの端子をもつ点灯回路	11
1.4.4	ツェナーダイオードによる定電圧回路	12
1.4.5	ダイオード特性：簡単なまとめ	14
第 2 章	LED の消灯：スイッチとトランジスタ	15
2.1	実験 A2：スイッチを加えた LED 点灯回路	15
2.1.1	回路図	15
2.1.2	部品を配線する	16
2.2	特性でみたスイッチと抵抗	16
2.2.1	スイッチの特性と電源の特性	16
2.2.2	抵抗の特性	19
2.2.3	トランジスタの特性曲線	22
2.3	トランジスタ・スイッチ	24
2.3.1	トランジスタをスイッチとして使う	24
2.3.2	光センサーをスイッチに使う	26
2.3.3	定電圧回路：3端子レギュレータ	28

2.3.4	タイマ IC:555 を使った点灯, 消灯回路	30
第 3 章	LED の点滅: 光のリズムをつくる	33
3.1	実験 A3: 358 を使った点滅回路	33
3.1.1	回路図	33
3.1.2	部品を配線する	34
3.2	オペアンプとヒステリシス回路	35
3.2.1	オペアンプの特性	35
3.2.2	ヒステリシス回路: シュミット回路	37
3.3	キャパシタと抵抗でリズムをつくる	39
3.3.1	キャパシタの充電と放電	39
3.3.2	時定数と半減期	41
3.4	RC 方形波発振回路	43
3.4.1	発振回路の解析	43
3.4.2	発振波形の性質	45
3.4.3	論理回路素子を使った方形波発振回路	47
3.4.4	タイマ IC:555 を使った方形波発振回路	48
第 4 章	LED の調光: 明るさを制御する	49
4.1	実験 A4: 555 を使った調光回路	49
4.1.1	回路図	49
4.1.2	回路部品	50
4.2	調光のしくみ: 発振 + PWM (パルス幅変調)	50
4.2.1	タイマー IC 555 を使った方形波発振回路	50
4.2.2	パルス幅変調: PWM(Pulse Width Modulation)	54
4.2.3	視覚の性質を使う	55
4.3	オペアンプを使った調光回路	55
4.3.1	LM358 のアペアンプを 2 つ使った調光回路	55
第 5 章	1.5V の電池で青色 LED を点灯する	57
5.1	実験 A5: 1.5V で青色 LED を点灯する回路	57
5.1.1	回路図	57
5.1.2	回路部品	58
5.2	インダクタの過渡現象	59
5.2.1	インダクタと抵抗の回路	59
5.2.2	チョッパ回路の性質	61
5.3	電圧を高くする回路: ブーストコンバータ	63
5.3.1	昇圧回路の荒っぽい解析	63
5.3.2	電荷ポンプ方式の昇圧回路	66

付録 A	おためし回路論	67
A.1	おためし回路論って何なの	67
A.2	直流回路とは	68
A.3	LED を使いこなそうでは何をするのか	72
A.4	回路の法則—素子の性質—	73
A.4.1	素子の電流と電圧の向き	73
A.4.2	電流と電圧の単位	73
A.4.3	線形抵抗—オームの法則—	73
A.4.4	電圧源と電流源	75
A.4.5	非線形抵抗	75
A.4.6	結合抵抗	76
A.5	回路の法則—接続の性質—	76
A.5.1	回路と向きのついたグラフ	76
A.5.2	キルヒホッフの電流則	77
A.5.3	キルヒホッフの電圧則	78
A.6	回路方程式	78
A.6.1	方程式の個数について	78
A.7	回路解析	80