

ギガビット研究会の活動状況と 今後の取り組み

- I. 設計ガイドラインセミナー
- II. PSD分科会
- III. その他

電気通信大学
産学官連携センター
ギガビット研究会 上 芳夫



I. 設計ガイドラインセミナー

入門編：“やさしい電磁気学から始める電磁波・
伝送回路の基礎”

第1部：電気回路編、第2部：伝送線路編

中級編：

“ベクトルネットワークアナライザを使いこなすために”

2日間にわたる少人数による実験・実習を伴うセミナー
現在まで、

計15回開催

入門編の第1部と第2部をそれぞれ7回、

中級編を1回開催済み

入門編

「ガイドラインセミナー入門編（やさしい電磁気学から始める電磁波・伝送回路の基礎）」

2014年度に試行を実施し、その際の要望等を取り入れテキスト内容を整備し、**2015年度に本格的に入門編を実施**

2日間にわたって、**デモ実験**を取り入れ、**非電気系の技術者やEMC技術初心者**を対象に、EMC問題の基礎を学ぶ基礎講座を開講

注：既設の設計ガイドラインセミナーは第1部から第7部E-ラーニング用にこれらをDVD化済み

やさしい電磁気学から始める
電磁波・伝送回路の基礎(電気回路編)

国立大学法人 電気通信大学

産学官連携センター ギガビット研究会

上 芳夫

2018年1月25日(木), 26日(金)

10:00~17:00

(スケジュール : 10:00~11:45 13:15~15:00 15:15~17:00)

この資料は、セミナーにご参加頂いた方が所属する法人の部門内に限定して
使用することが可能です。

設計ガイドラインセミナー入門編
第1部 電気回路編

実験手引書

2017年8月24日(木), 25日(金)

国立大学法人 電気通信大学

産学官連携センター ギガビット研究会



この講座は、機械系や化学系など**非電気系**で、回路設計・EMC技術に従事している**初心者レベル**の方々を対象とする入門編の講座です。

オームの法則は分かるけど、その先は不安という方、
交流と直流は何がどう違うのか理解できていない方、
電圧・電流と電界・磁界は全くの別物と思っている方、

1. 直流での電圧・電流と電界・磁界

静電界は電荷が作る、電圧は静電界で定義、電流は電荷が動くこと、電流が磁界をつくる、電気回路の基本法則など

2. 回路素子と電磁界

キャパシタを電磁気学的に見る、グラウンド面と導体、インダクタを電磁気学的にみる、など

3. 交流での電磁界と回路素子

任意波形は正弦波の集まり、交流での抵抗、キャパシタ、インダクタの交流での動作、など

4. 交流での回路解析の手法

講座の目標は

電子機器の基本素子の動作がどのような電磁気現象の基礎にあるかを理解すること
その応用として、電子機器での現象・動作などが定性的に説明できるようにすること
さらに、基礎的なEMC問題の考え方を理解できるようにすること

1.2 抵抗

オームは、抵抗体に流れる電流 I は抵抗体の端子電圧 V に比例することを見出した。一般に電気回路においては、この逆表示の電圧は電流に比例するという表記がオームの法則として用いられている。

$$I = GV \Rightarrow V = RI$$

このとき、 R が抵抗であり、 G がコンダクタンスである。

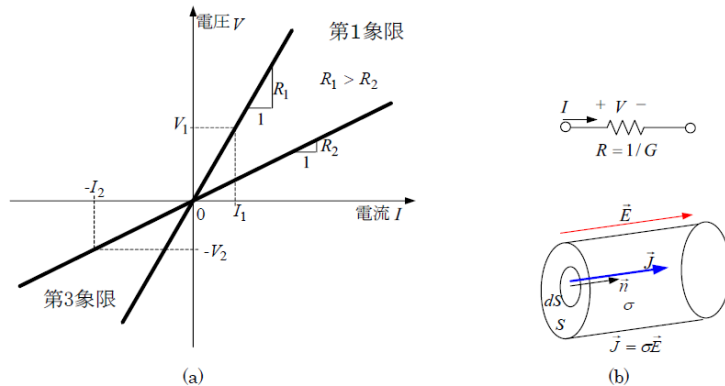


図 1.1 抵抗：回路的特性図(a)と電磁気学的抵抗の説明(b)

電磁気学のオームの法則は、電流密度(ベクトル)と電界との関係として

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (1.1)$$

で与えられている。ここで、 σ は導電率である[注3]。

この両者から、長さ l 、断面積 S の導体を考えると、抵抗と導電率の関係は

$$R = \frac{l}{\sigma S} = \rho \frac{l}{S} \quad (1.2)$$

であり、ここで ρ は抵抗率である。

【注】 前述したように、電荷の時間微分が一定であるとき直流電流である。このときには、(導電)電流は導体断面を一様に流れている。

注3 電流 I と電流密度(ベクトル) \vec{j} の関係は、断面 S の単位法線ベクトルを \vec{n} とすれば、 $I = \int_S \vec{j} \cdot \vec{n} dS$ である。

1.3 キャパシタ

キャパシタの基本形は、サンドイッチ状に誘電体を挟んだ2枚の平行平板導体板(電極)である。電極の表面積を S とし、誘電体の誘電率を $\epsilon (= \epsilon_r \epsilon_0)$ とすれば、電極に等量異符号の電荷 Q を与えたとき、電極間の電圧 V との関係は

$$V = \frac{1}{C} Q \quad (1.3)$$

である。この比例定数の逆数がキャパシタンスである。

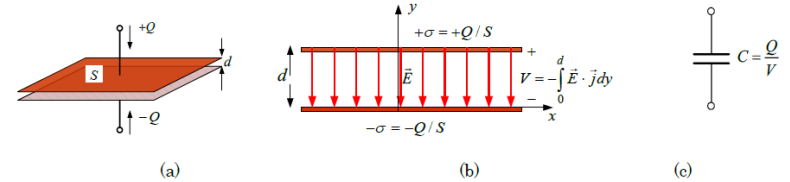


図 1.2 極板モデル(a)、極板間の断面での電界(b)および回路モデル(c)

【参考】 極板に与えた電荷によって電極間に電界が発生する。極板の間隔を d とし、間隔は非常に狭く、電界は一様に発生し、極板端部の電界の乱れは無視できるとする。極板の間隔方向を単位ベクトル \vec{j} の y 軸方向とし、極板が $y=0$ と $y=d$ の位置にあるとする。このとき極板間の電圧 V は内部の y 方向電界成分から求められ[注4]、

$$V = \frac{Q/S}{\epsilon} d \quad (1.4)$$

となる。この結果キャパシタンスは

$$C = \frac{Q}{V} = \epsilon \frac{S}{d} \quad (1.5)$$

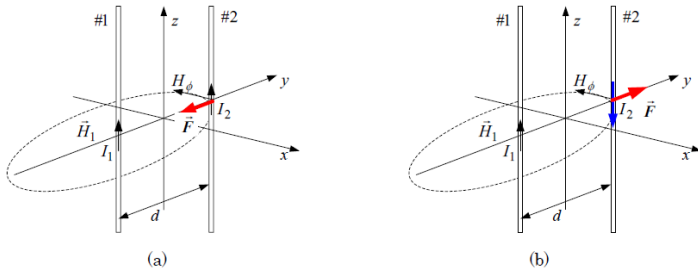
となる。キャパシタは電荷を蓄積する素子であり、極板間において電界エネルギーを蓄える素子と言える。直流回路として見ると、電荷が蓄積されて一定の電圧が保たれ、電荷の移動がない状態になっているので、電流は流れていない。したがって開放(オープン)回路となる。

注4 電圧 V は内部の y 方向電界成分を基板の厚さ方向に積分することで

$$V = - \int_0^d \vec{E} \cdot \vec{j} dy = - \int_0^d E_y dy = \frac{Q/S}{\epsilon} d \text{ と求められる。}$$

..... 参考.....

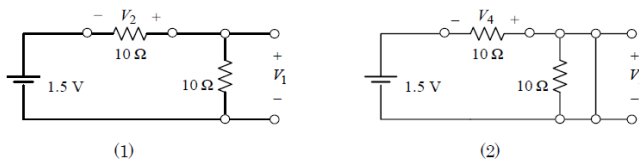
磁界中に電流が存在するときも力を受ける。これは、ローレンツ(Lorenz)力と呼ばれている。例えば、2本の導体線が平行に並んでおり、これらに電流が流れている。一方の線(#1)に電流 I_1 が流れると、他方の線(#2)の位置に磁界 \vec{H}_1 を作る。この磁界が#2の線を通る電流 I_2 に作用する力がローレンツ力である。このとき#2の線は、 I_2 を \vec{H}_1 の方向に右ねじを回転したとき、右ねじが進む方向の力を受ける[注7]。



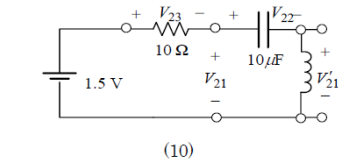
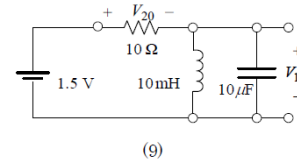
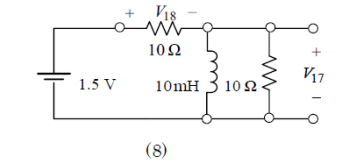
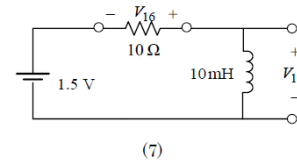
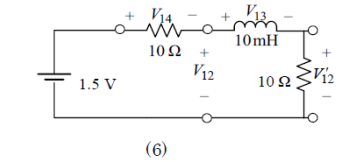
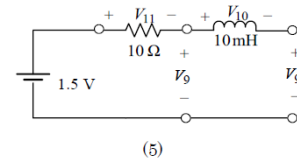
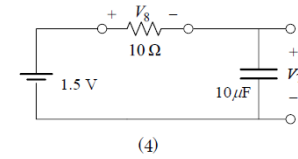
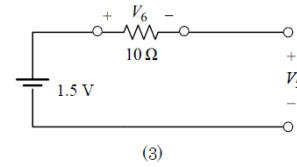
附図 平行導線に流れる電流間に働くローレンツ力
(a)同方向に流れる電流間では引力、逆方向の場合は斥力(b)

次の問を考えてください！

問1 次の直流回路において、電圧計のプロブ(探針)のプラス(+)-マイナス(-)の端子を図に示すように接続して、それぞれの電圧を読むとその値はいくらかを、理由を述べながら答えよ。



注7 ローレンツ力は $\vec{F} = \vec{J} \times \vec{H}$ と電流ベクトル \vec{J} と磁界(ベクトル) \vec{H} との外積(ベクトル積)で与えられる。『1アンペアは、真空中に1メートルの間隔で平行に配置された無限に小さい円形断面積を有する無限に長い二本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの導体の長さ1メートルにつき 2×10^{-7} ニュートンの力を及ぼし合う一定の電流である。』と定義されている。



出題の意図:

この回路図を見て、電源は直流電圧源であり、スイッチはない。したがって、定常な状態を考えればよい。このとき、(1)電圧と電流の関係が把握できているか、(2)短絡と開放回路の意味が理解できているか、(3)電流が流れないということをどのように理解しているか、(4)インダクタやキャパシタの動作を理解できているか、が問題となる。

これらの検証実験は後ほど行う。

⇒ これらを理解するために、オームの法則から始める。

A. 実験の準備

実験の準備段階として、使用する測定器と備品の概要について述べます。

A.1 実験に使用する測定器

(1) 波形発生器：(Keysight Technology 33500B) (詳細は別紙のマニュアルを参照して下さい)

- 出力信号の最高周波数：30MHz
- 電源をオンした後、[Channel]ボタンを押して、ソフトキーメニューの[Output]を[On]にします。この初期操作はすべての実験で共通です。
- 正弦波の周波数を掃引(スイープ：sweep)させて、振幅周波数特性の概要を測定することができます。(別紙マニュアルのP12を参照してください)

【注意1】出力電圧は、50Ω負荷の時の負荷電圧で表現されています。電源の内部抵抗は50Ωですので無負荷時の出力電圧はパネルに表示されている電圧の2倍であることに注意してください。

(2) オシロスコープ：(Keysight Technology DSO-X 2024A) (別紙のマニュアルを参照して下さい)

測定データをUSBメモリーに保存する方法は別紙マニュアルのp.23を参照してください。

【注意2】プローブのカラーチップの色とグラフの色は次のように各チャンネル(Ch)に対応しています。

Ch1(黄色)、Ch2(緑色)、Ch3(青色)、Ch4(赤色)

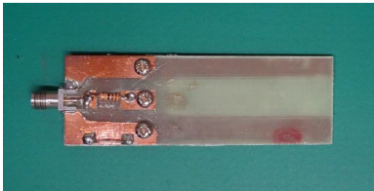
演算結果(Math)のグラフは(薄紫色)で表示されます。演算結果はチャンネル間でデータを四則演算した結果を表示するものです。(演算機能について別紙マニュアルのp14を参照して下さい)オシロスコープのディスプレイや印刷用プリンタの発色特性により、カラーチップの色とは異なります(特に黄色はオレンジに近い発色になっています)がご了承ください。

【注意3】[Run/Stop]ボタンの下にある[Default Setup]ボタンを押すと初期(工場出荷)状態に戻ります。オシロスコープが不安定になった場合や、所期の動作をしなくなった場合には初期(工場出荷)状態に戻してみてください。

A.2 実験に使用する備品

(1) 実験器材(治具・ケーブル等)：

- 各設問や課題で共通に使用する実験器材は以下の通りです。
- 信号供給用治具



信号供給用治具

信号供給用治具には電流測定等のため、あらかじめ約10Ωの抵抗が信号入力端に直列に接続されています。

1

- 信号供給用同軸ケーブル (黒 BNC-SMA) 1本 (波形発生器に装着)
- 外部トリガ供給用同軸ケーブル (黒 BNC-BNC) 1本 (波形発生器とオシロスコープを接続)

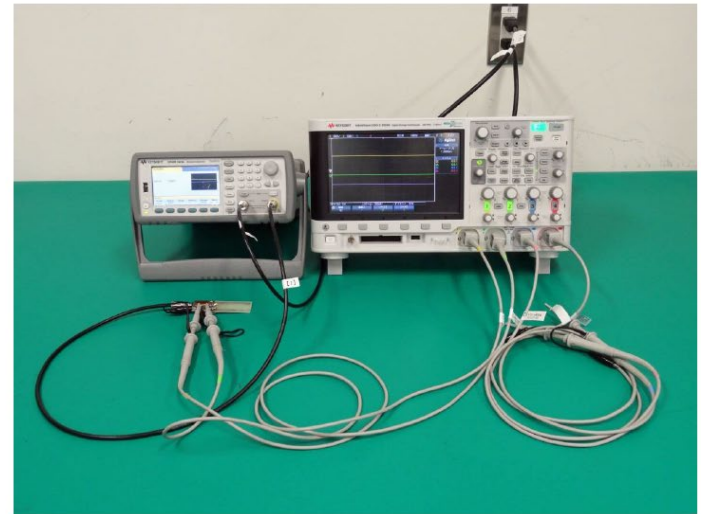
・実験の基本構成

実験用器材の説明の途中ですが、ここで実験の基本構成について述べておきます。下図(写真)を参照してください。本実験は、信号供給用同軸ケーブルの BNC コネクタを波形発生器の出力(Output)に接続し、SMA コネクタを信号供給用治具の入力に接続して行います。

後述する実験試料は、信号供給用治具の SMA コネクタに直列接続されている電流測定用の抵抗(10Ω)と GND(グラウンド)の間に挿入し、ドライバを用いてビス止めします。

外部トリガ供給用同軸ケーブルを用いて、波形発生器の Output の横にある Sync とオシロスコープの裏面右上にある EXT TRIGGER IN を接続します。

実験試料の入出力波形は、オシロスコープのプロープを観測点に接続して測定します。



実験の基本構成

信号供給用治具の実装状態は問1-(1)の場合と同様

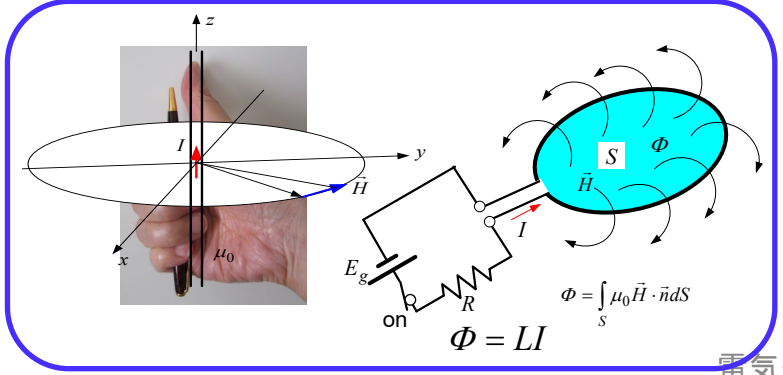
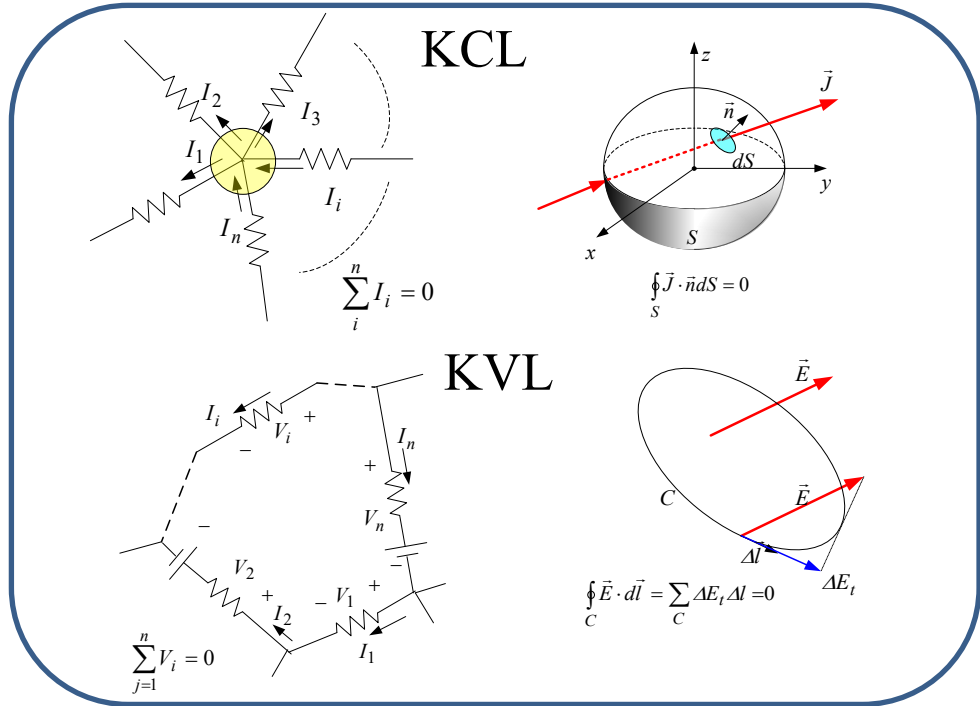
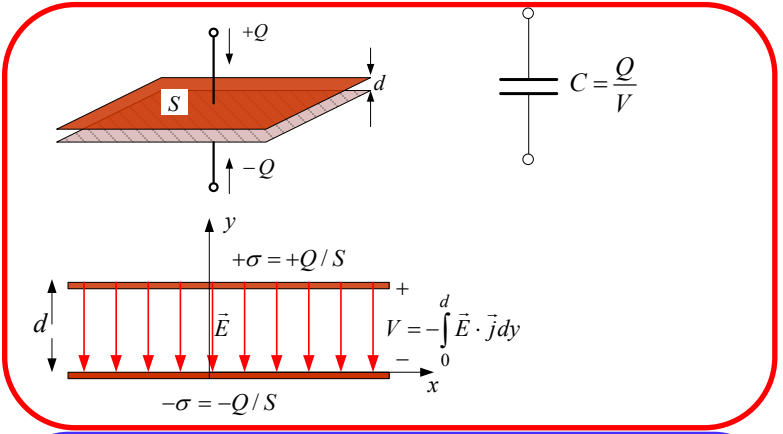
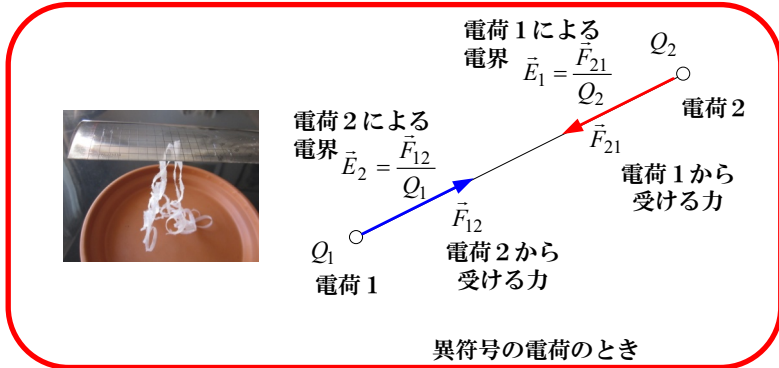
(2) 実験試料(抵抗、キャパシタ、インダクタ等)：

各設問や課題で使用する実験試料については設問や課題ごとに示します。回路素子(R, L, C)の値としては、Agilent社製のHandheld LCR Meter U1732Cを用いて1kHzで測定した値を示してあります。本実験手引書で示した値と若干異なることもあると思いますがご了承ください。なお、共振回路におけるLの値については共振のところで[参考]として考察します。

2

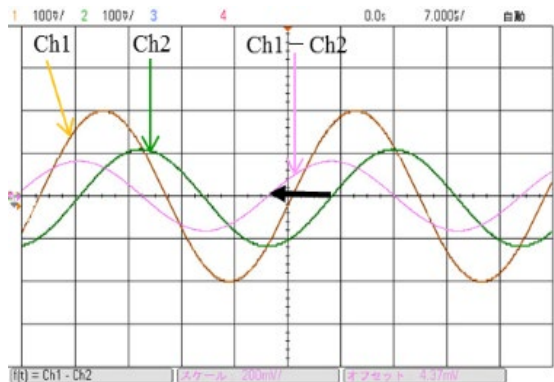
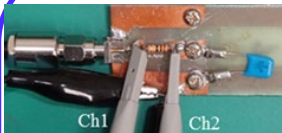
第1部「電気回路編」

1. 直流での電圧・電流と電界・磁界
2. 回路素子と電磁界
3. 交流での電磁界と回路素子
4. 交流での回路解析の手法
フェーザ法、網目解析法、節点解析法、共振現象 など



実験課題例

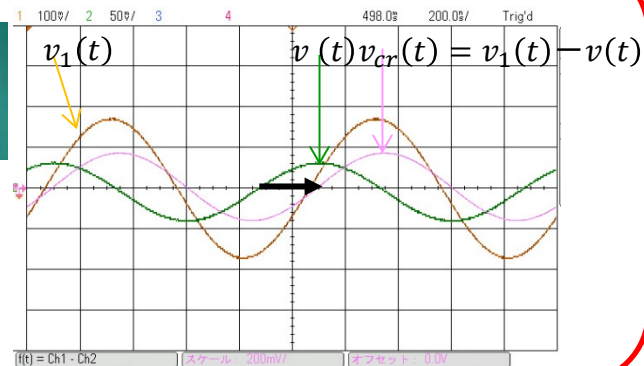
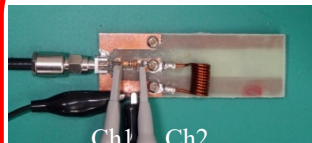
キャパシタの動作



$$Q = CV$$

$$\Rightarrow i_C = C \frac{dv_C}{dt}$$

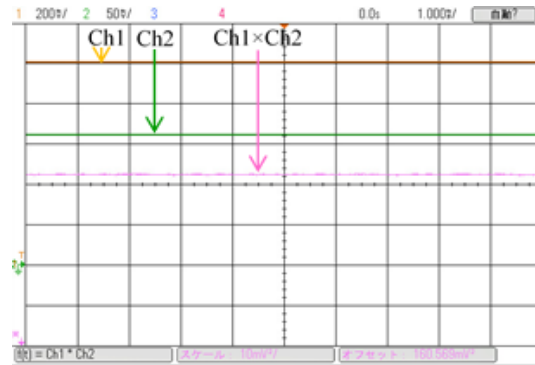
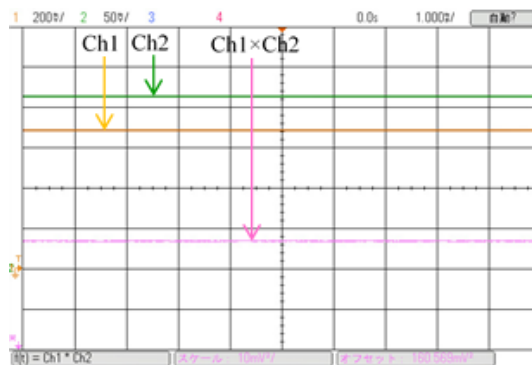
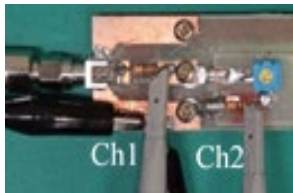
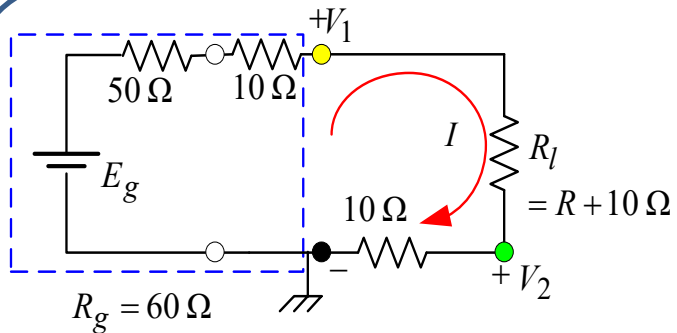
インダクタの動作



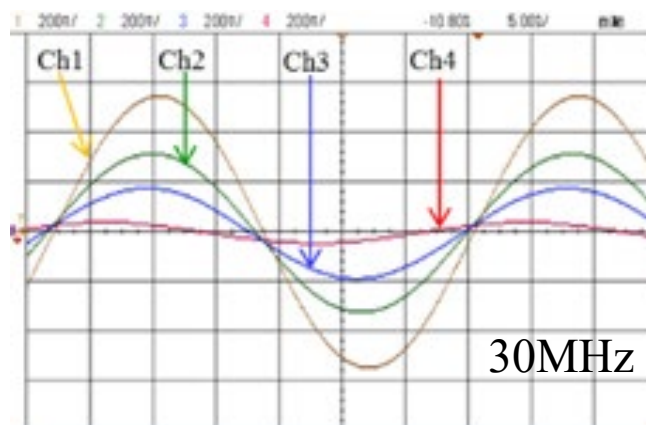
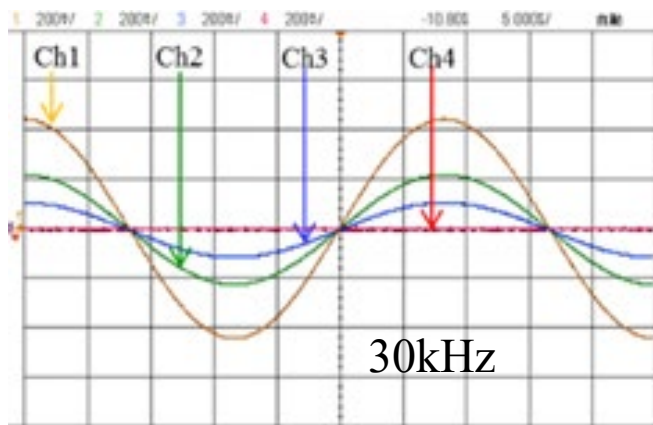
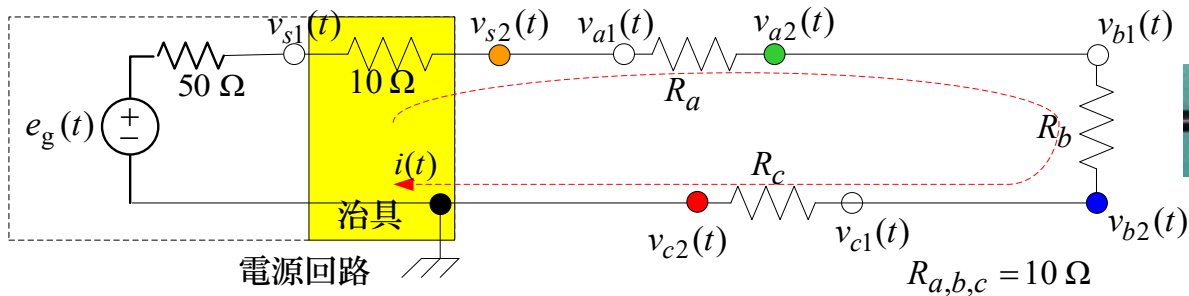
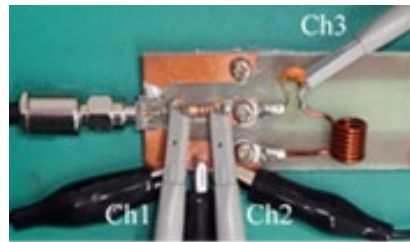
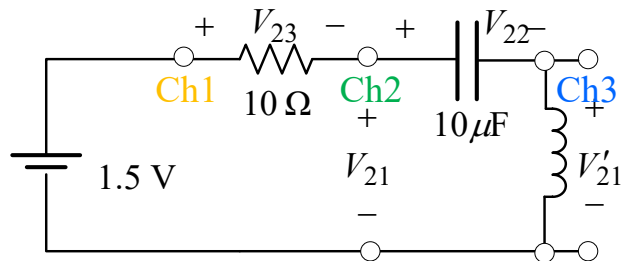
$$\Phi = LI$$

$$\Rightarrow v_L = L \frac{di_L}{dt}$$

消費 (供給) 電力最大の法則



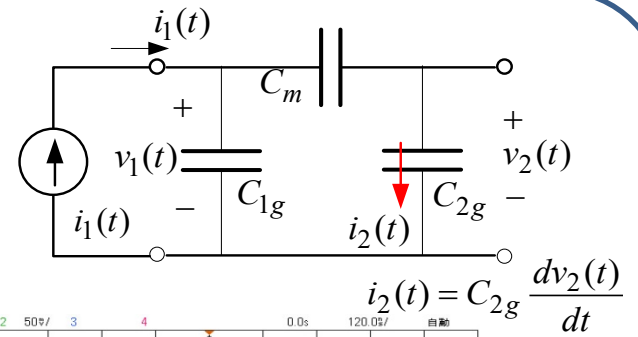
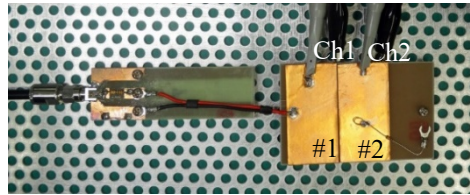
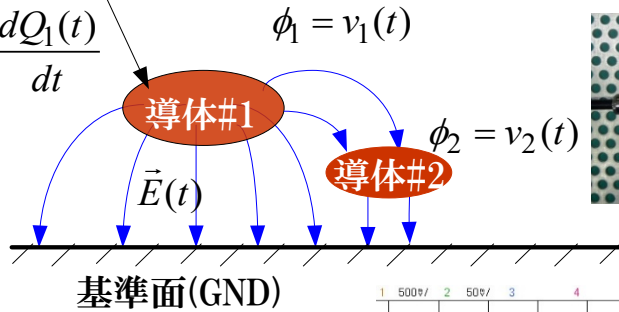
参考書にない例



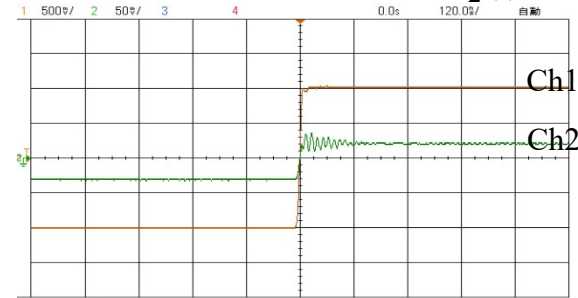
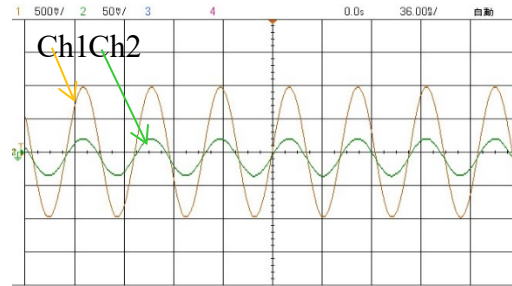
電界結合モデル

時間変化の電荷

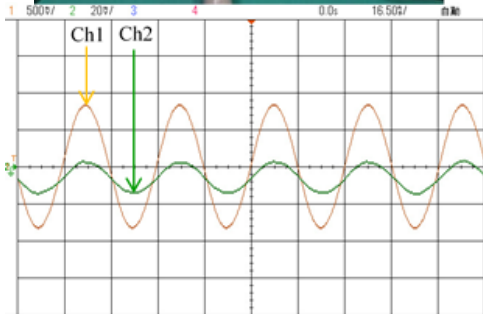
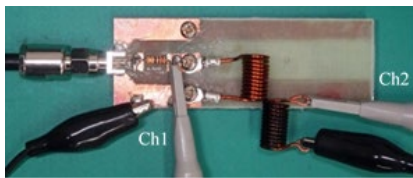
$$i_1(t) = \frac{dQ_1(t)}{dt}$$



$$i_2(t) = C_{2g} \frac{dv_2(t)}{dt}$$



磁界結合(相互誘導回路)



共振回路と磁界結合を用いる無線電力伝送の原理

