

電子回路講座 第8回

インピーダンス整合

今日の内容

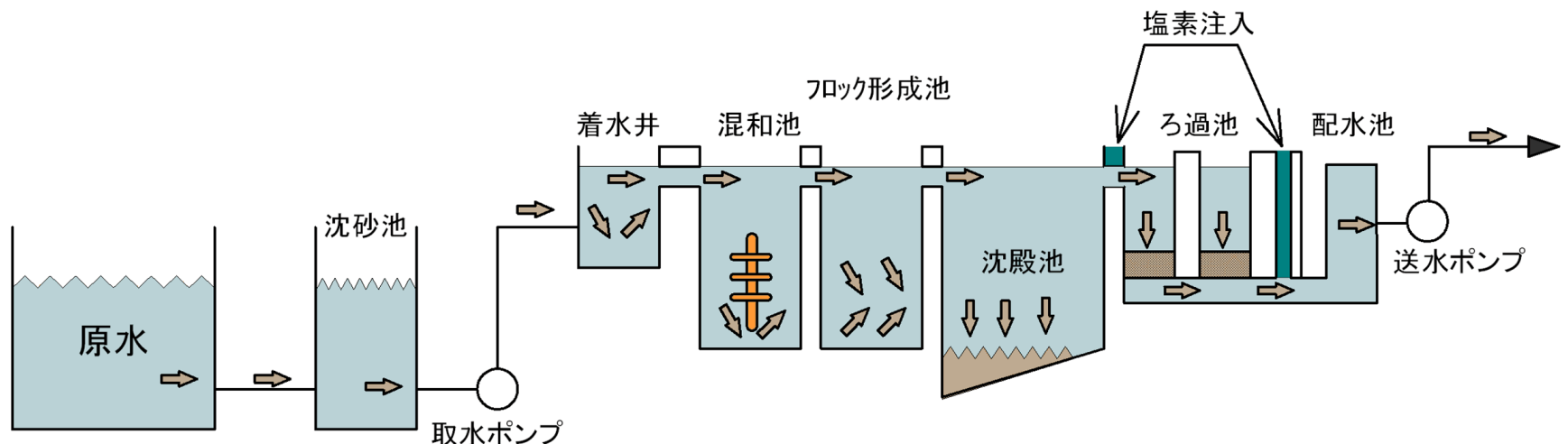
- インピーダンス整合
 - 電子回路と電子回路を繋ぐときに考えること
 - 電力と影響
- 整合の取り方
 - トランスによる整合
 - エミッタフォロワによる整合

ブロック図の考え方

- アナログ回路全体を1個1個の部品単位で見るとはならず、大まかな部分ごとで考える
- 全体を掴みやすくなり、かつ一つ一つの機能ごとに回路を考えることも容易に

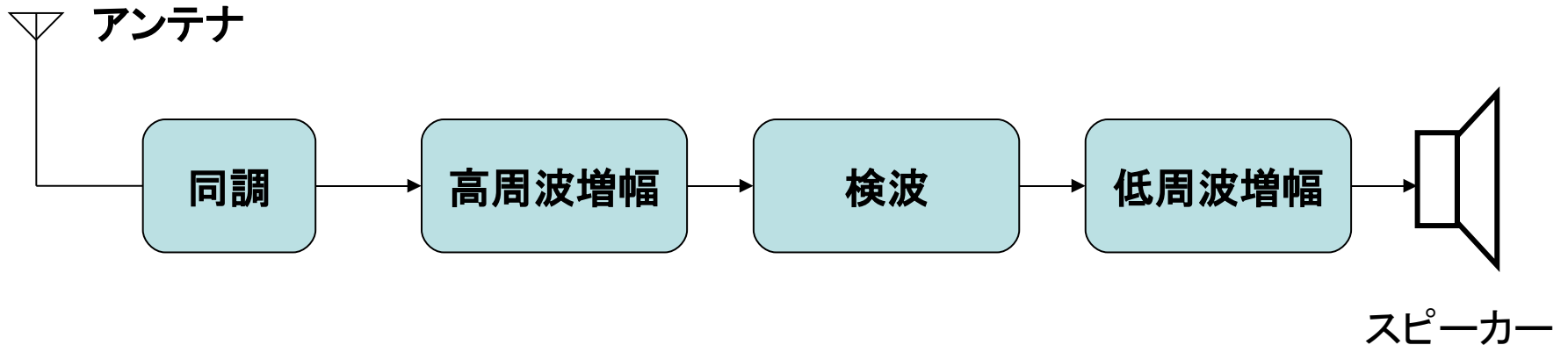
例：浄水場のブロック図

- それぞれの働きごとにブロックを分けて書いてある
- それぞれのブロックごとの詳細は省いてある
 - どのようなモーターを使って、深さや容積はどの程度で、どのような薬品を使って・・・etc



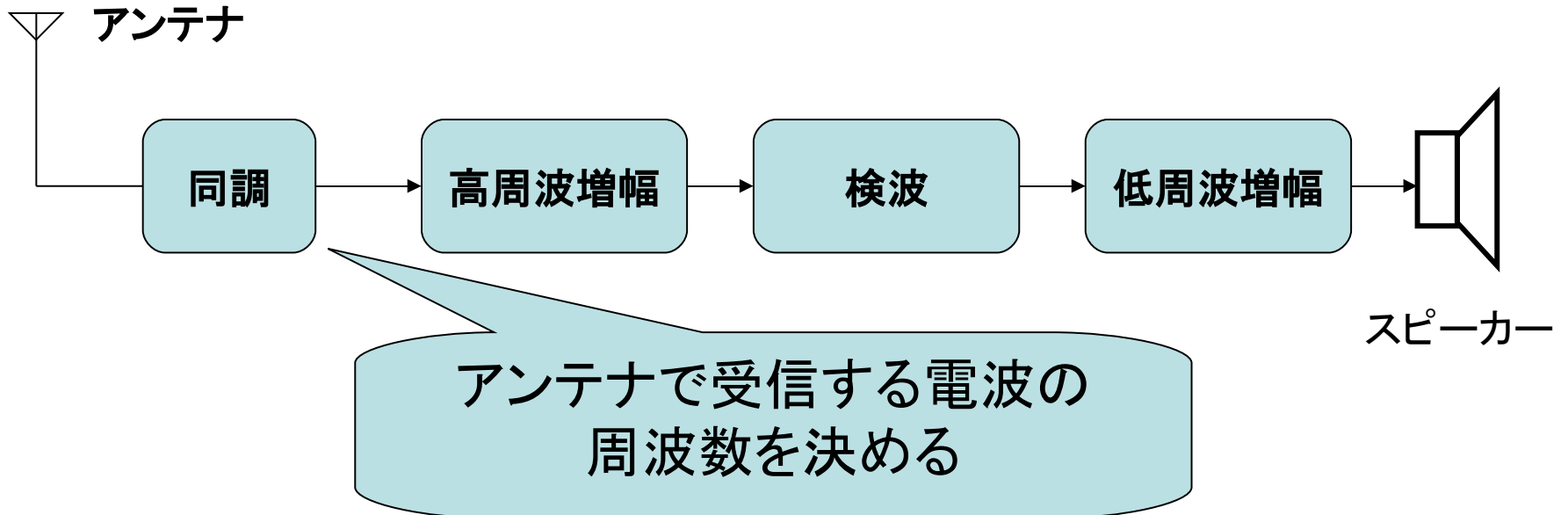
アナログ回路のブロック図

- 同じように、機能ごとにブロックを分ける
- 簡単なAMトランジスタラジオの例



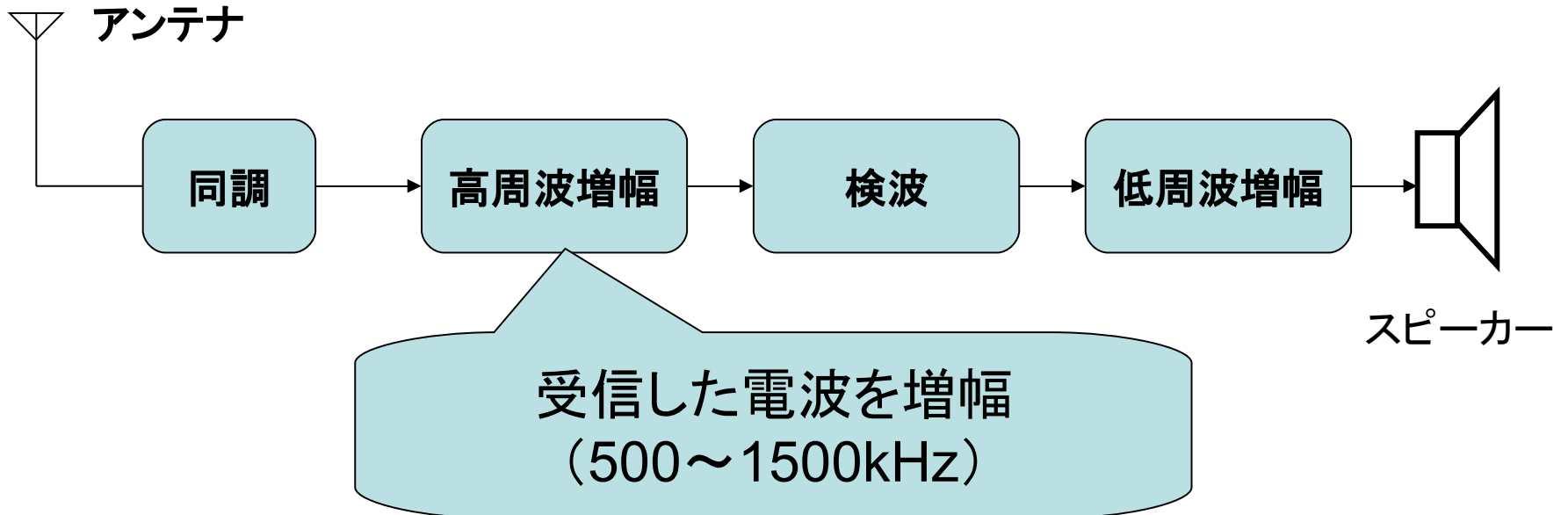
アナログ回路のブロック図

- 同じように、機能ごとにブロックを分ける
- 簡単なAMトランジスタラジオの例



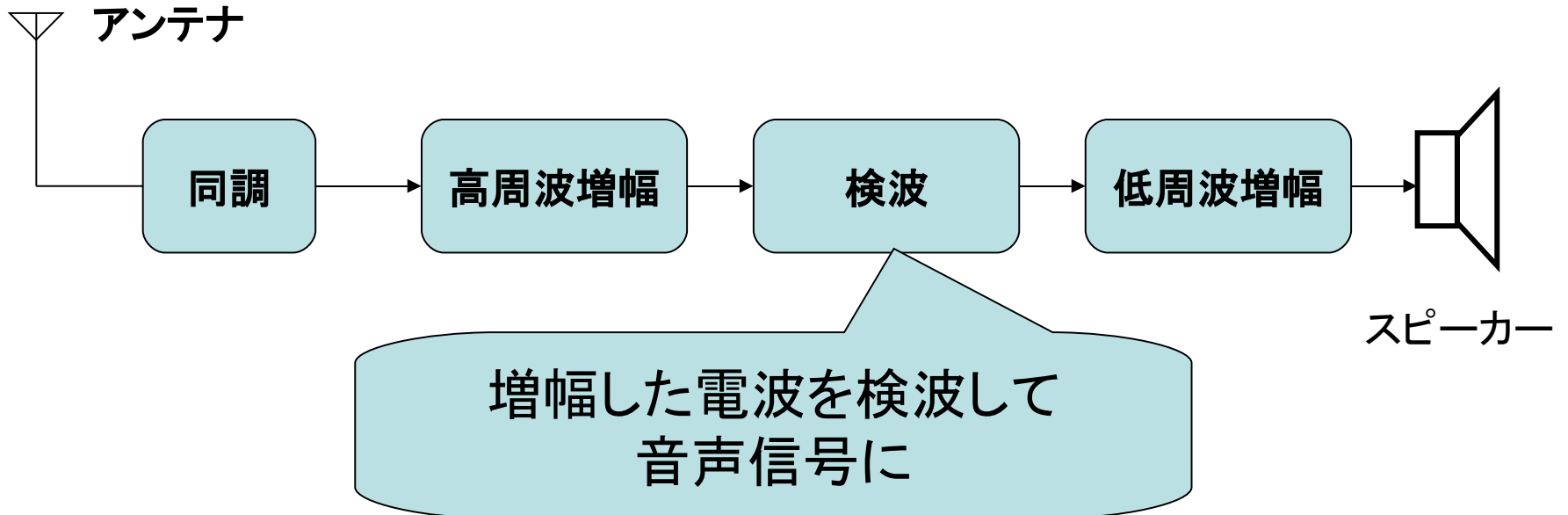
アナログ回路のブロック図

- 同じように、機能ごとにブロックを分ける
- 簡単なAMトランジスタラジオの例



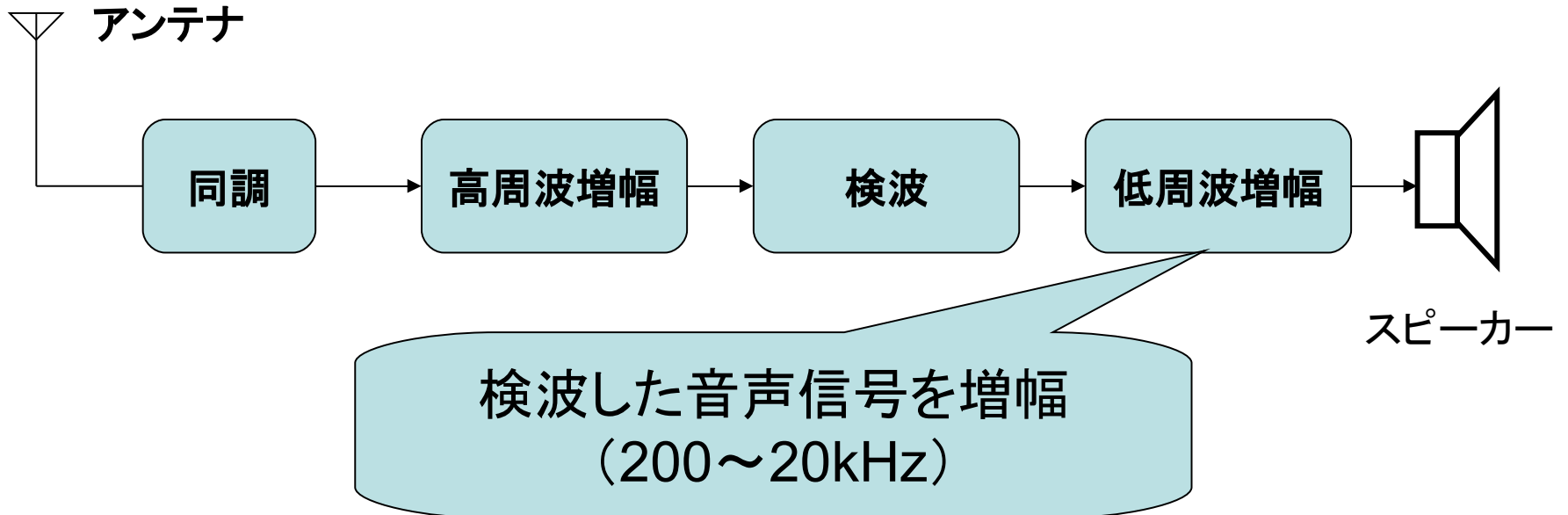
アナログ回路のブロック図

- 同じように、機能ごとにブロックを分ける
- 簡単なAMトランジスタラジオの例



アナログ回路のブロック図

- 同じように、機能ごとにブロックを分ける
- 簡単なAMトランジスタラジオの例

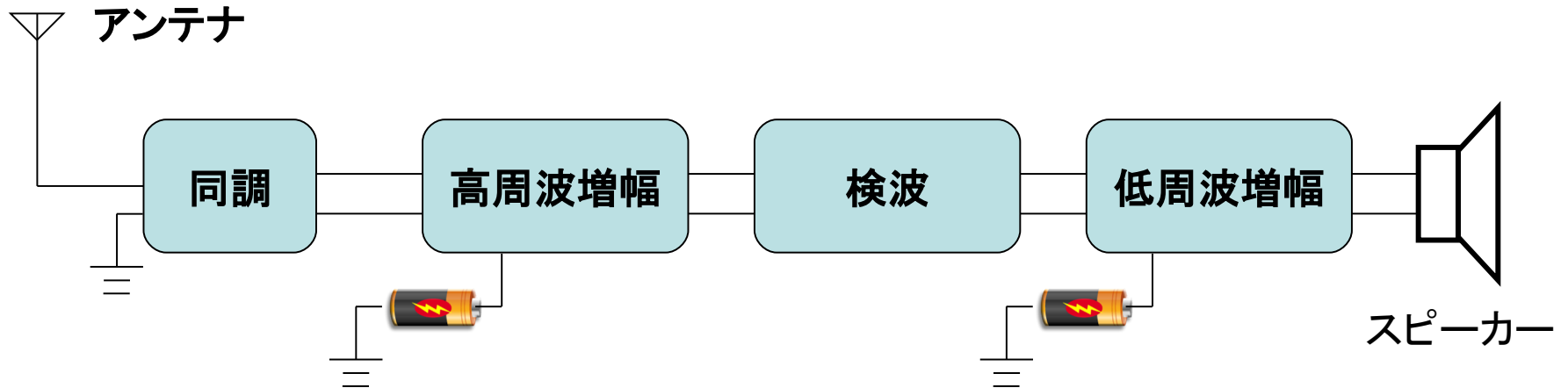


ブロックと整合



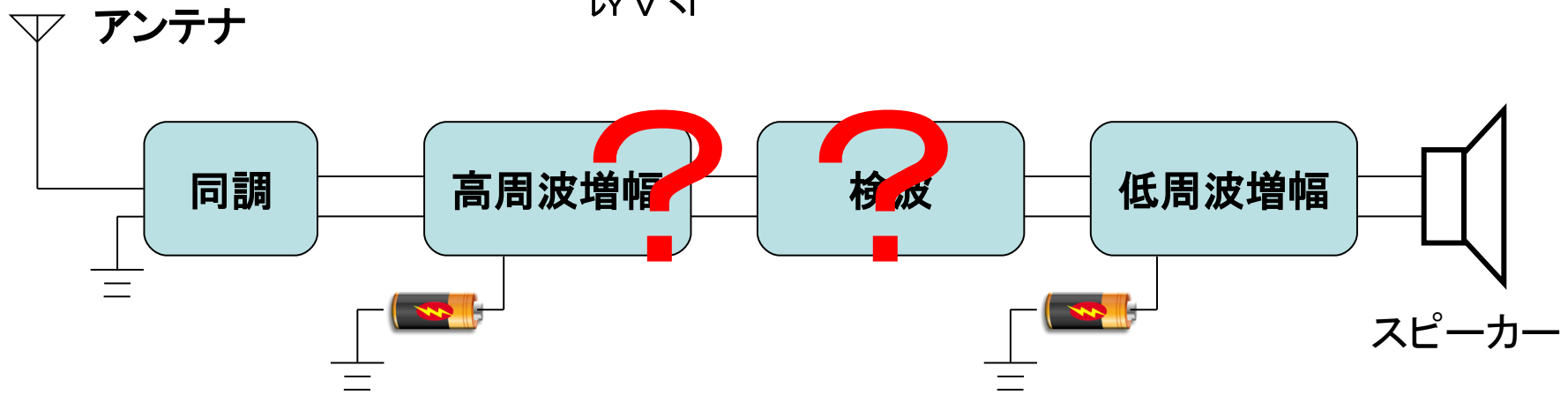
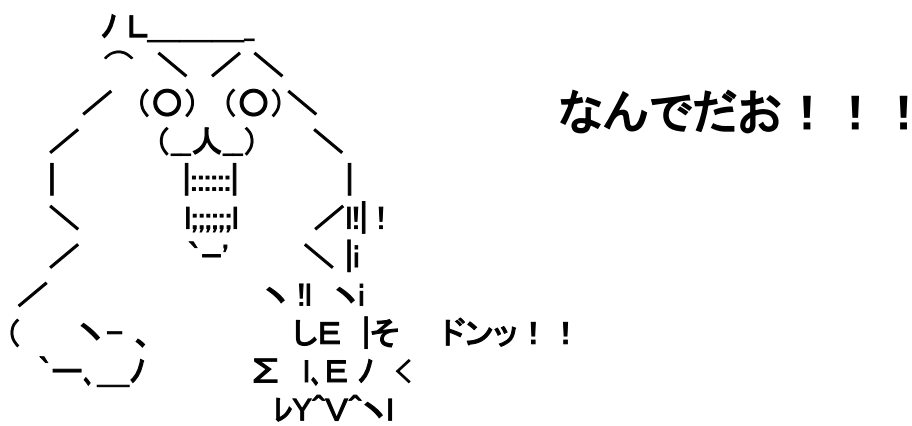
じゃあこうやってそれぞれの回路設計して
±繋ぐだけでラジオの完成だお！

電子回路簡単だお！



ブロックと整合

- 例によってそんな簡単にはいかない



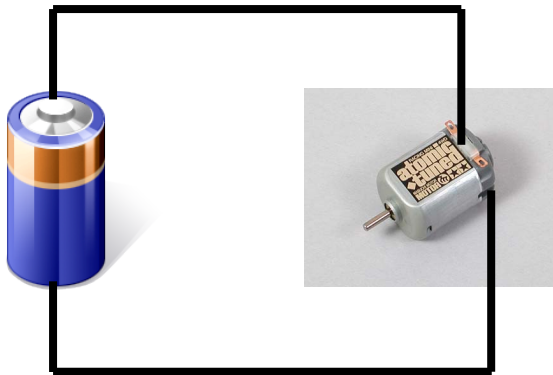
二つの回路を繋いだ例： 内部抵抗を持つ電池とモーター

- 第2回でやった、モーターと電池を繋ぐ場合
- 同じ1.5Vでも、アルカリとマンガン、どっちを繋いだ方がパワーがでるか？

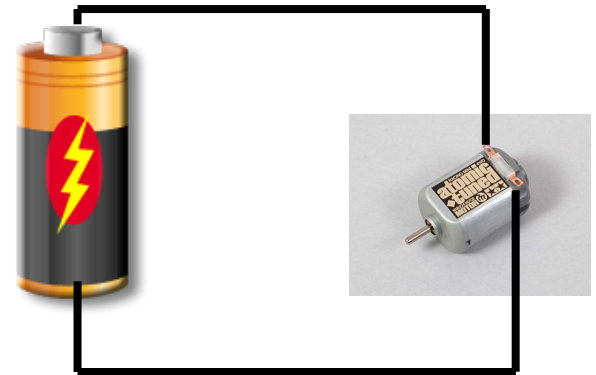
内部抵抗の違いによる出力差

- 同じ負荷 (1Ω) を繋いだ場合にどうなるか？

内部抵抗
 5Ω
電圧
 $1.5V$

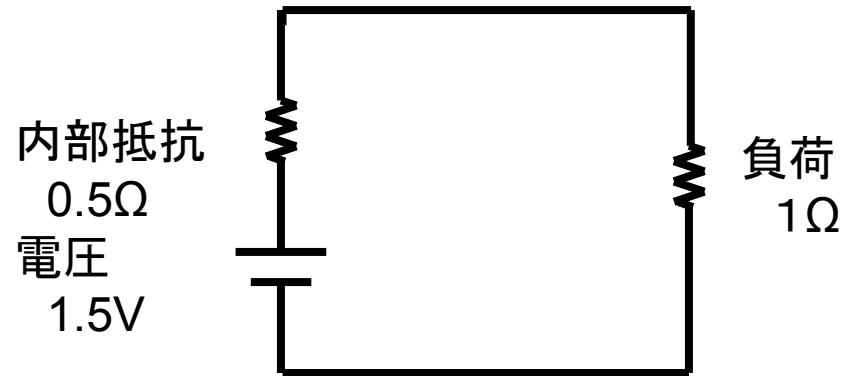
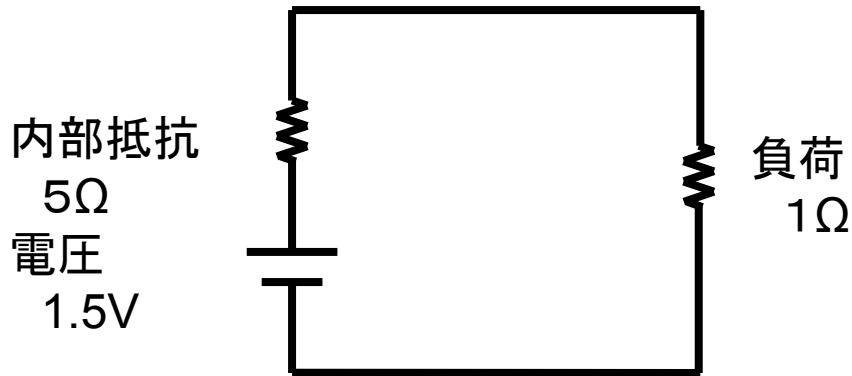


内部抵抗
 0.5Ω
電圧
 $1.5V$



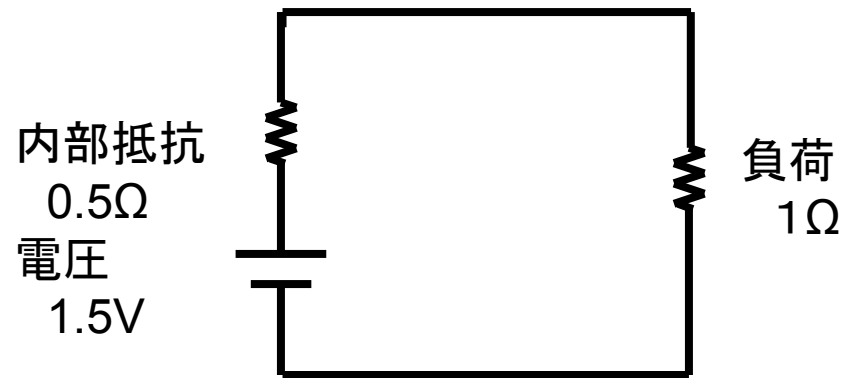
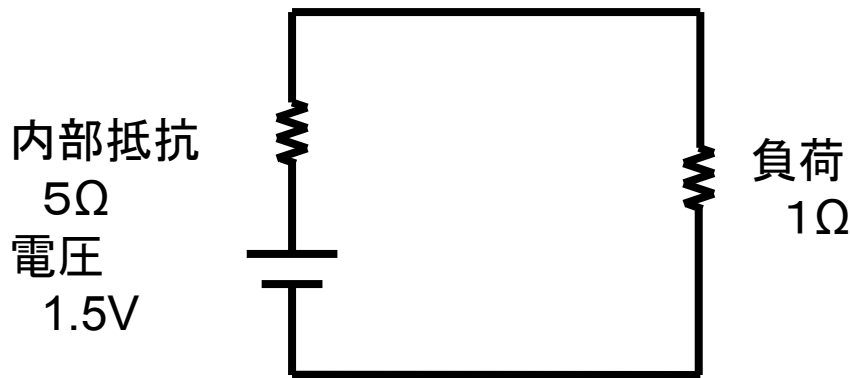
内部抵抗の違いによる出力差

- 同じ負荷 (1Ω) を繋いだ場合にどうなるか？



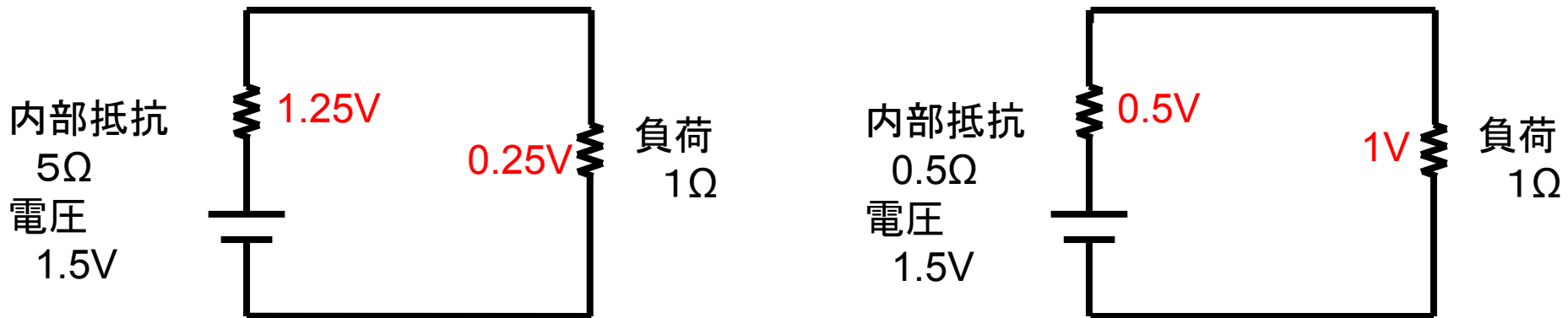
内部抵抗の違いによる出力差

- 同じ負荷 (1Ω) を繋いだ場合にどうなるか？
- 分圧計算の容量で計算すると、モーター側にかかる電圧はいくつ？



内部抵抗の違いによる出力差

- 同じ負荷 (1Ω) を繋いだ場合にどうなるか？
- 分圧計算の容量で計算すると、モーター側にかかる電圧はいくつ？



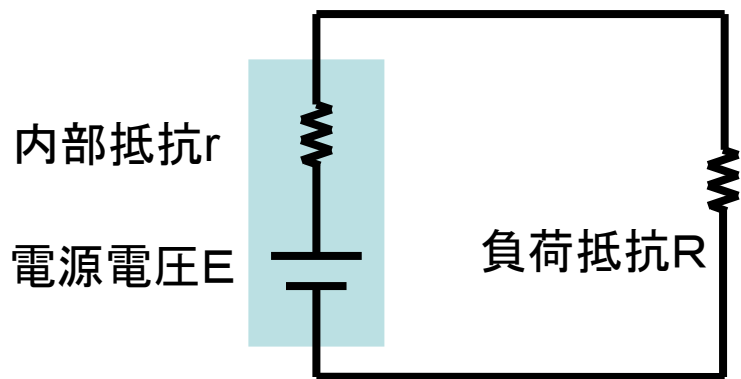
内部抵抗が低い電池の方が、モーターに大きな電圧を掛けられる

最大電力を取り出すには？

- 抵抗を上げると電流が通りにくくなって電力が下がる
- かといって、下げすぎると負荷にかかる電圧が内部抵抗より低くなってしまい、電力が下がる
- 一番いいところは？

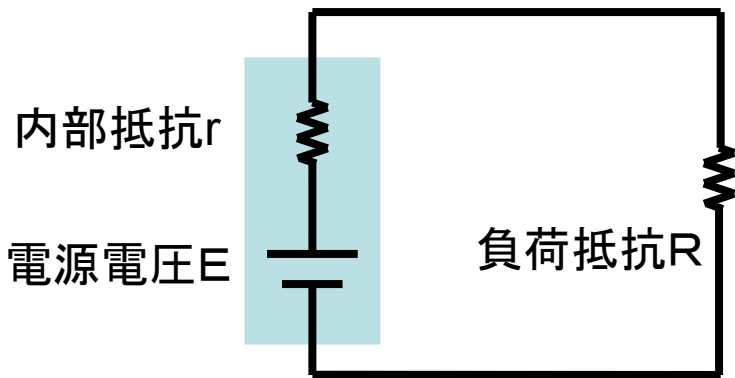
内部抵抗入りの電力の計算

- 以下の回路で r を固定として、もっとも電力が高い R を求める



電力の計算

- 以下の回路で r を固定として、もっとも電力が高い R を求める



$$I = \frac{E}{r + R}$$

$$\begin{aligned} W &= I^2 R = \frac{E^2 R}{(r + R)^2} = \frac{E^2 R}{R^2 + 2rR + r^2} \\ &= \frac{E^2}{R + 2r + \frac{r^2}{R}} \end{aligned}$$

W を最大にするには、下辺が最小であればいいので

$R + 2r + \frac{r^2}{R}$ を最小にする R を求めればいい

続・電力の計算

$R + 2r + \frac{r^2}{R}$ を R で微分

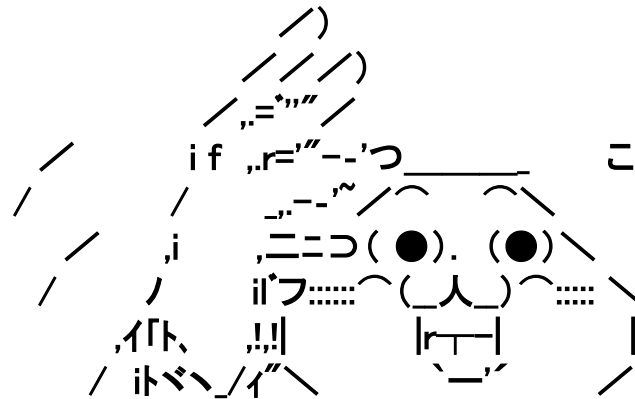
$$\frac{d}{dR} \left(R + 2r + \frac{r^2}{R} \right) = 1 - \frac{r^2}{R^2}$$

$\frac{d}{dR} = 0$ のとき $\frac{r^2}{R^2} = 1$ 、すなわち $R = \pm r$

抵抗値にマイナスは無いので、 $R = +r$ のときに極値

$1 - \frac{r^2}{R^2}$ は $R > r$ で正、 $R < r$ で負なので下に凸の極値

よって最小値は $r = R$ のときであり、このときに電力最大



こまけえこたあいいんだよ！！

整合

- つまり、**内部抵抗と負荷抵抗が等しいとき**に最大の電力を取り出せる
 - これより大きくても小さくても負荷の電力は落ちる
- 内部抵抗と負荷抵抗を合わせると回路の効率がいい
- これを**整合**という

→以上のことは抵抗だけじゃなくてインピーダンスにも言える

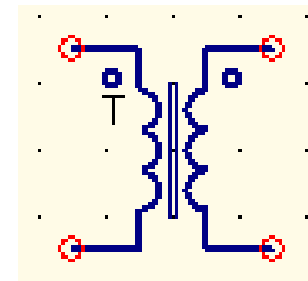
- スピーカーを繋ぐとき、ケーブルを繋ぐときなど、これが常に**重要**
 - 整合を取るため、抵抗を入れたり、トランスを入れたりする
 - 抵抗の使い道その3
 - 整合が取れて無いと効率が悪い
 - 75Ωの同軸に、300Ωのフィーダー線を直接繋ぐとテレビが残念なことに…

整合の取り方

- 抵抗を使う方法
 - 当然ロスが多い
- トランスを使う方法
 - かさばるのが弱点
- 増幅回路を使う方法

トランスを使う方法

- トランスはコイル二つが組み合わさったような構造をしている
- **電圧を変換する**機能が有名



回路図記号



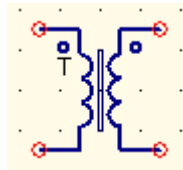
電子回路などで使われるトランス



電柱の上にある柱上トランス：
高圧の送電線(6600V)から
100V/200Vの家庭用に

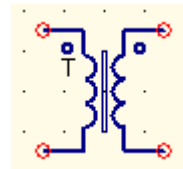
トランス

- 巻き数比だけ電圧を変換する



100巻	10巻
100V	10V

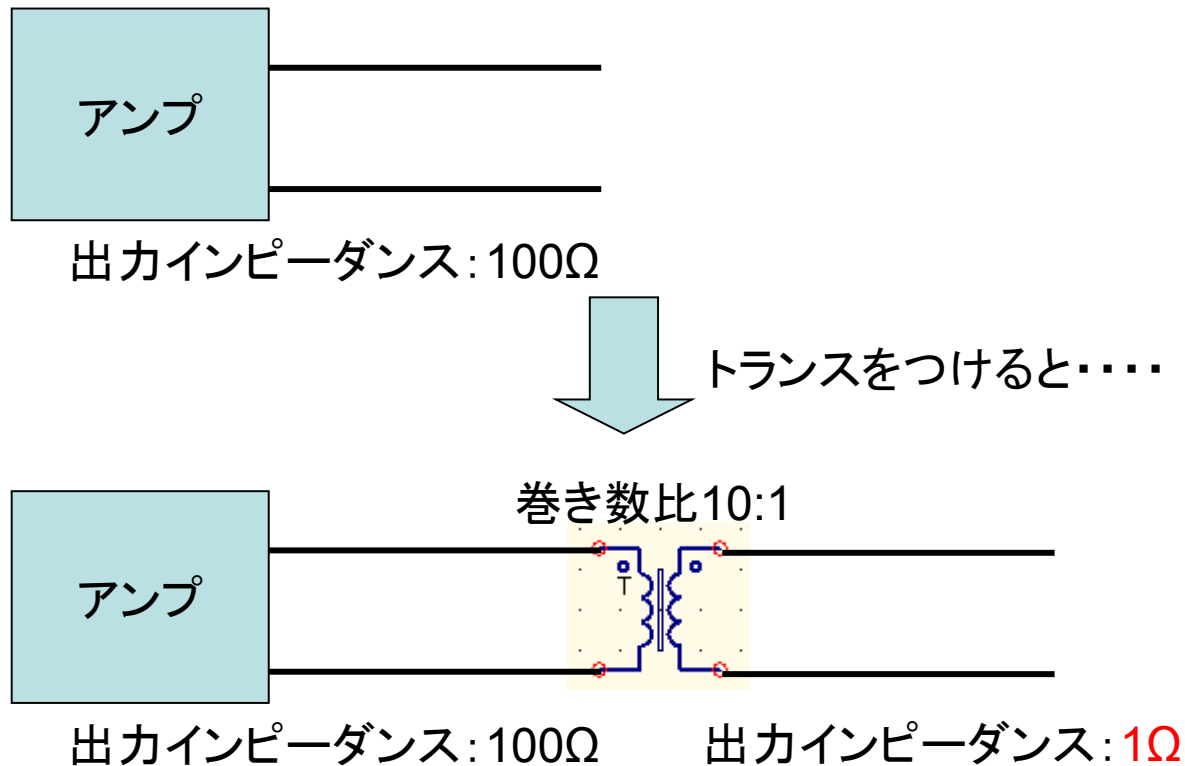
- そのため、インピーダンスは巻き数比の二乗になる



100巻	10巻
100Ω	1Ω

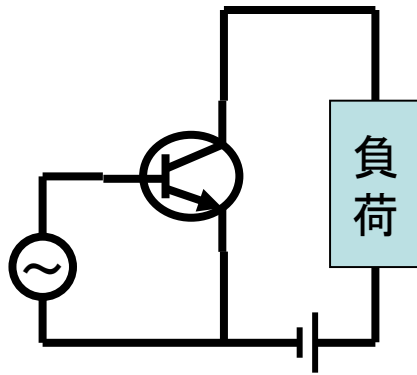
トランスによる整合

- トランスをつけると、逆側から見たインピーダンスは変換後のものになる

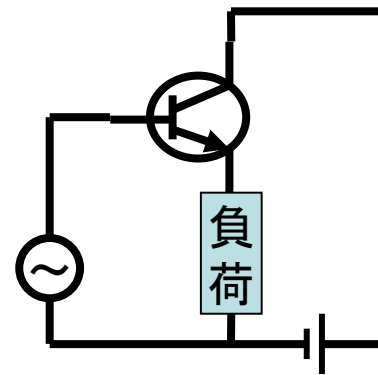


トランジスタによる整合

- ここで登場するのはコレクタ接地回路
(エミッタ・フォロワ)



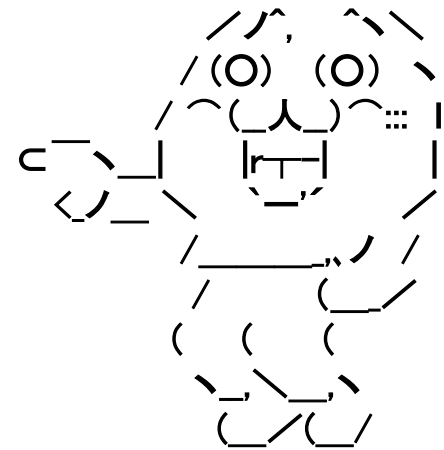
エミッタ接地回路



コレクタ接地回路

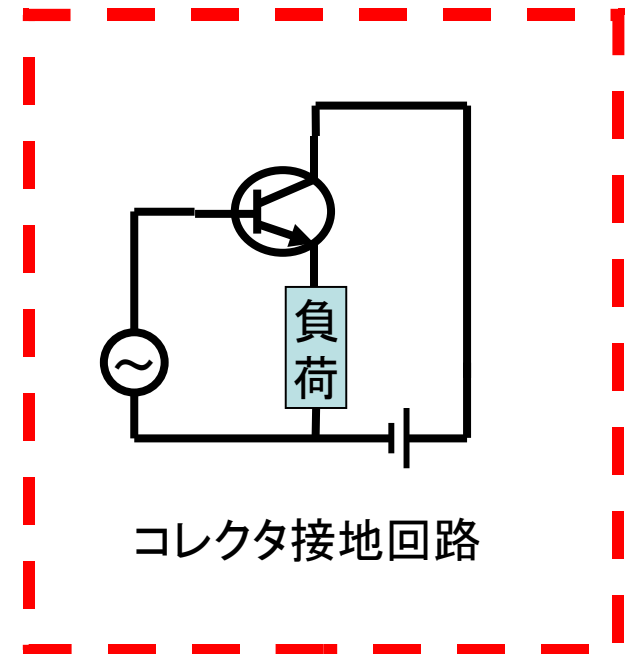
コレクタ接地回路の特性

- 増幅度は1倍程度



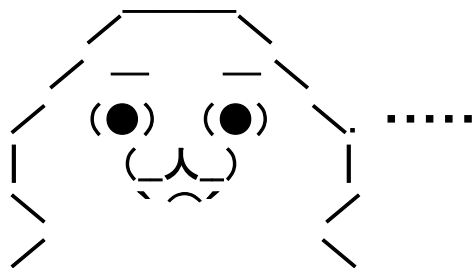
1倍！？増幅器じゃないお！
これなら前回作ったやる夫のエミッタ接地の
方がずっと高性能だお！

50倍のゲインだお！



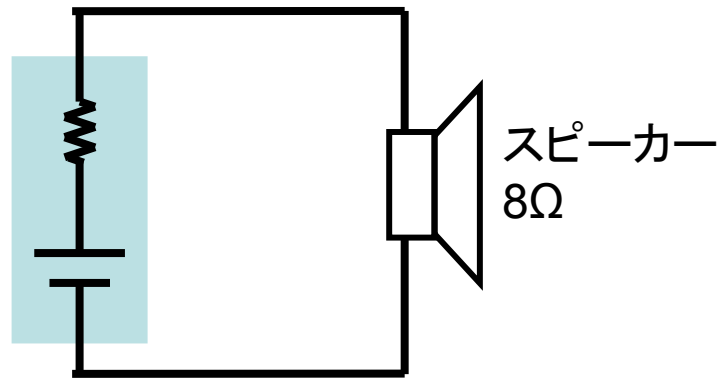
コレクタ接地回路

が、エミッタ接地回路を スピーカーに繋ぐと……



出力インピーダンス
4k Ω

増幅出力
(電池とみなせる)



前回作ったエミッタ接地回路
は、負荷抵抗によって増幅度
が変わった
そのため比較的抵抗が**高い**

が、エミッタ接地回路を スピーカーに繋ぐと……

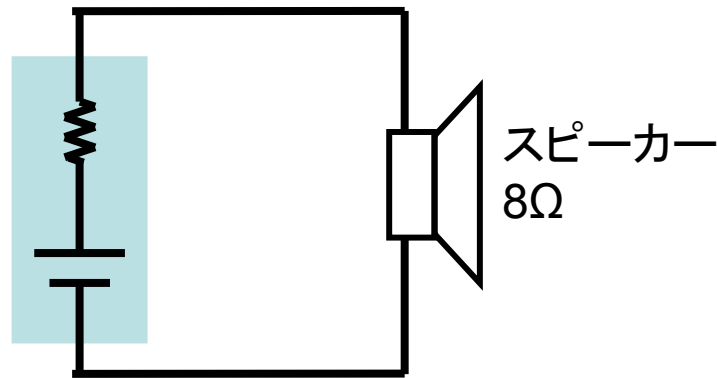


だ、だお……

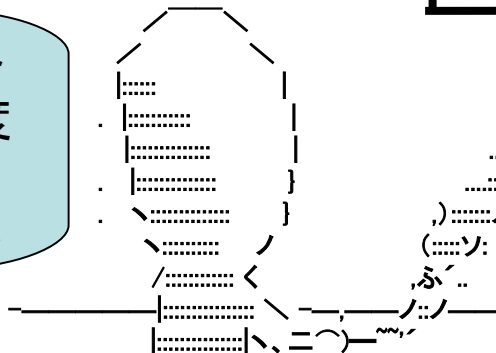
オームの法則から、電圧のかかる比は
 $4000\Omega:8\Omega=500:1$

出力インピーダンス
4k Ω

増幅出力
(電池とみなせる)



前回作ったエミッタ接地回路
は、負荷抵抗によって増幅度
が変わった
そのため比較的抵抗が**高い**

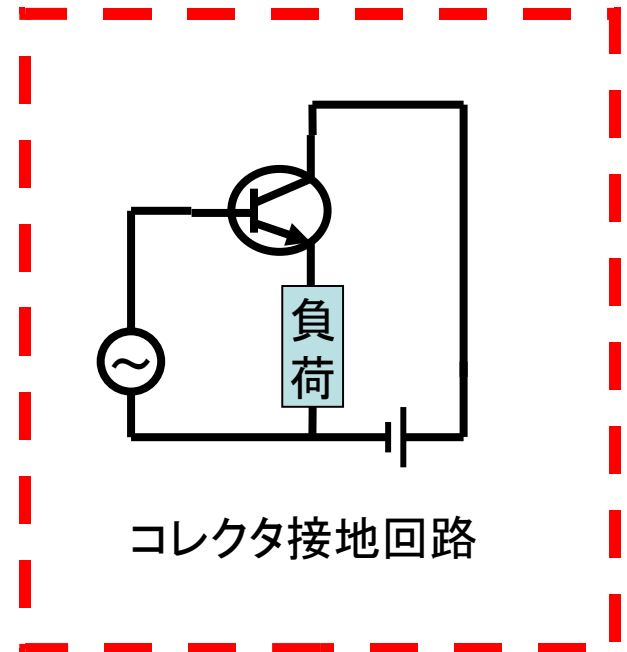


電圧のゲインが80倍でも実際にかかる
電圧が1/500じゃまるで意味ないだろ…
常識的に考えて……

コレクタ接地回路の特性(2)

- 出カインピーダンスをかなり低くできる
 - 理論上ゼロにも可能(現実的には数 Ω ぐらい)
- そのうえ、入カインピーダンスも高くできる
 - 数百 $k\Omega$ 程度

- つまり、高インピーダンスの出力を低インピーダンスの出力に変えることができる！



コレクタ接地回路を スピーカーに繋ぐと……

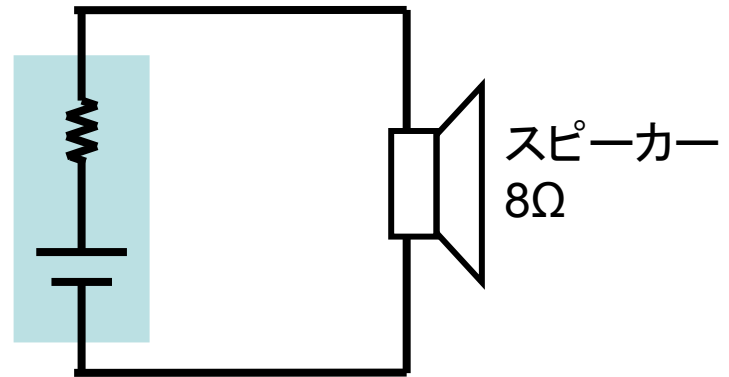


こ、これがコレクタ接地の威力……

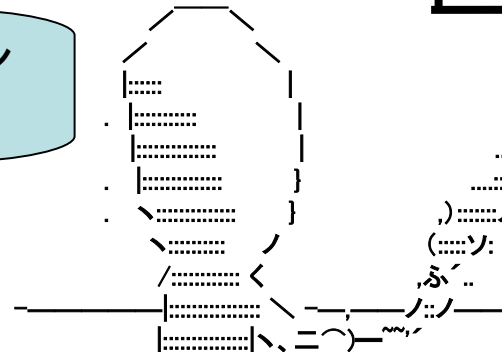
オームの法則から、電圧のかかる比は
 $5\Omega:8\Omega=1:1.3$ 程度、電力的にも有利

出力インピーダンス
 5Ω

増幅出力
(電池とみなせる)



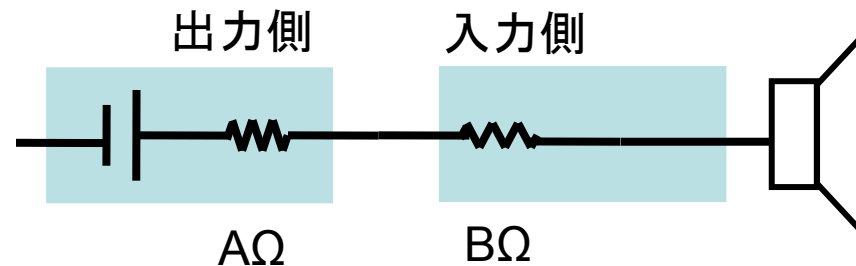
コレクタ接地回路の出力イン
ピーダンスは**低く**できる



これなら実用になるだろ……
常識的に考えて……

低周波のインピーダンス： ノイズを低くしたい場合

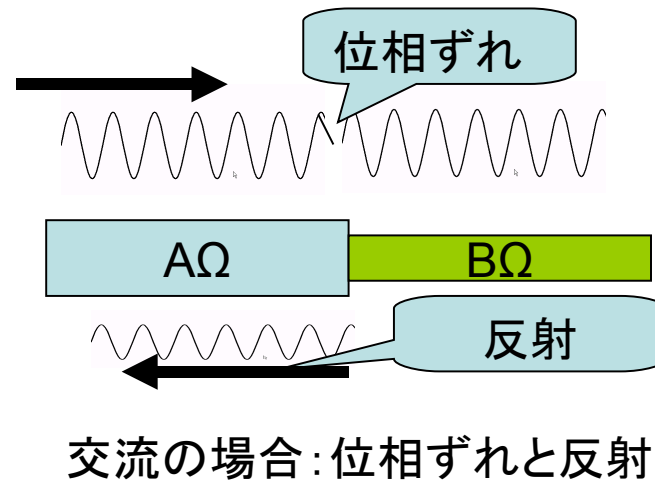
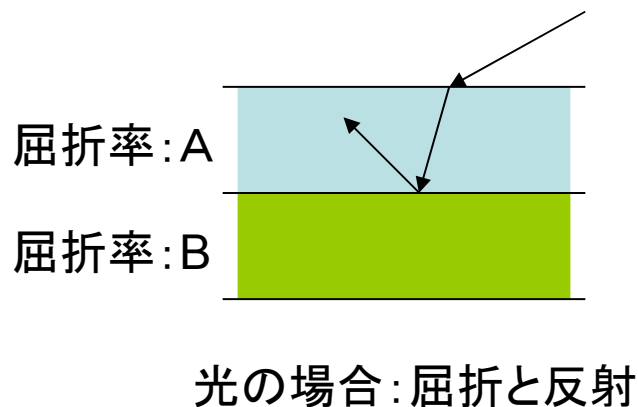
- 低周波(オーディオ信号)などでは、ノイズに強くするためにあえて整合を取らずに出カインピーダンスを低く、次段の入カインピーダンスを高くする(ことがある)



$A\Omega < B\Omega$ ならほとんどの電圧がBにかかり、
かつ電流がほとんど流れない(=線路でノイズや歪みが出にくい)

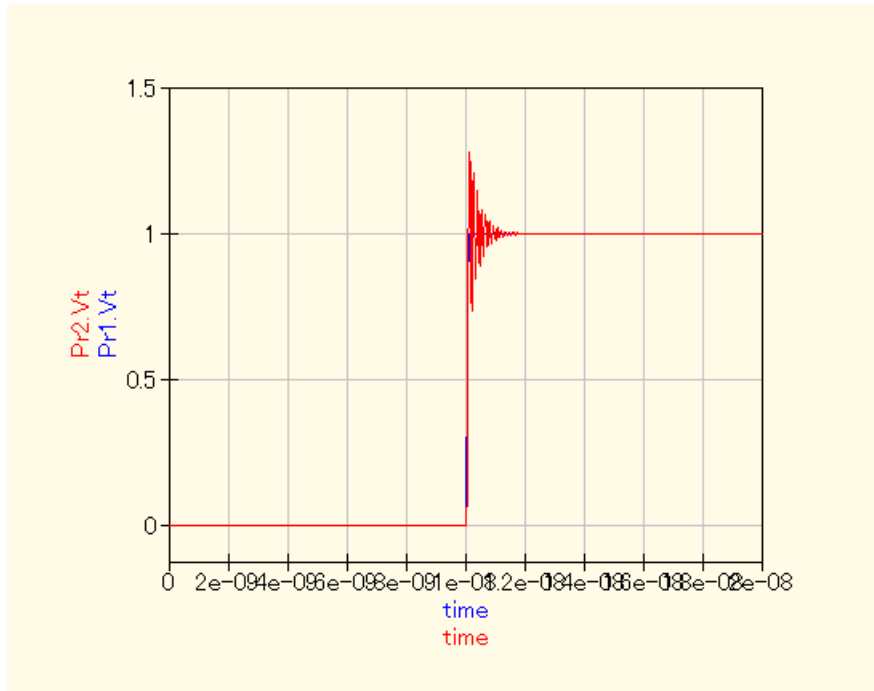
高周波の場合

- 低周波なら低出力インピーダンス、高入力インピーダンスでよいが...
- 高周波になると光の性質によく似てくる
 - 屈折率が違う物質に入ると**屈折**したり**反射**したり
 - 交流で言うならば**位相がずれ**たり**反射**したりする

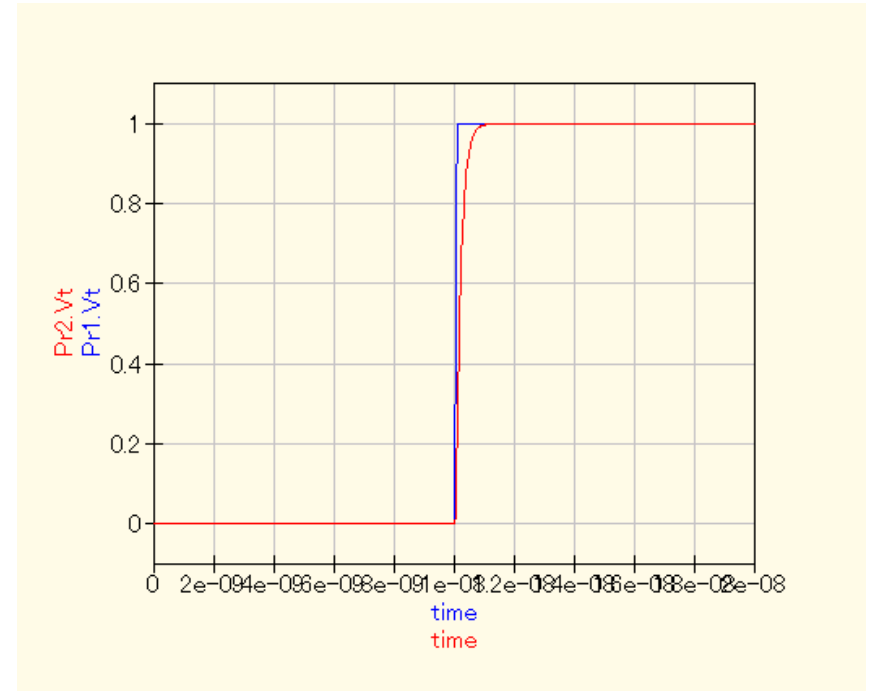


高周波の場合： 積分が取れていないと・・・

- 以下のように、波がばたついたり遅れたりする
– シミュレータで確認

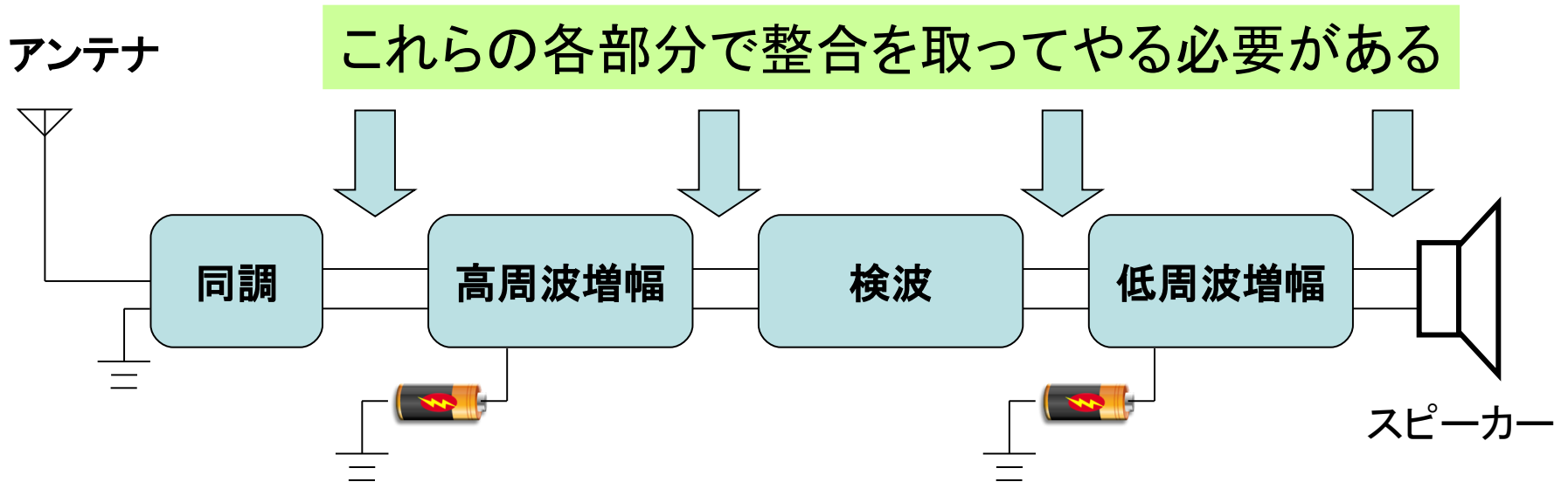


入力インピーダンス > 出力インピーダンス
波がばたつく



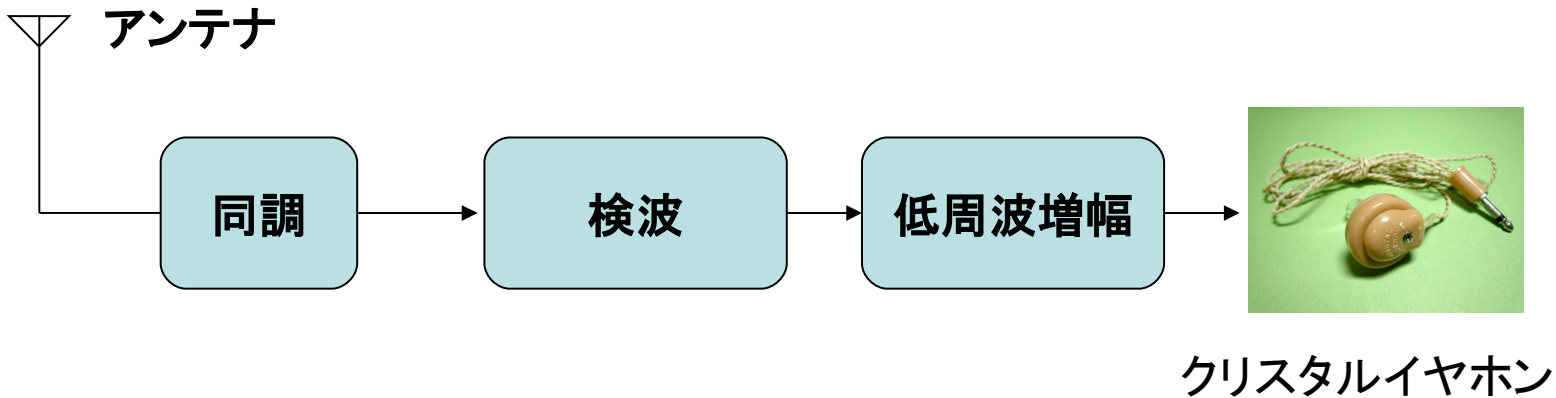
入力インピーダンス < 出力インピーダンス
反応が遅れる

最初のラジオの例に戻ると・・・



webで拾ってきたラジオの例

- 低周波増幅のみ、高周波増幅をしないラジオ



webで拾ってきたラジオの例

- 低周波増幅のみ、高周波増幅をしないラジオ

アンテナ

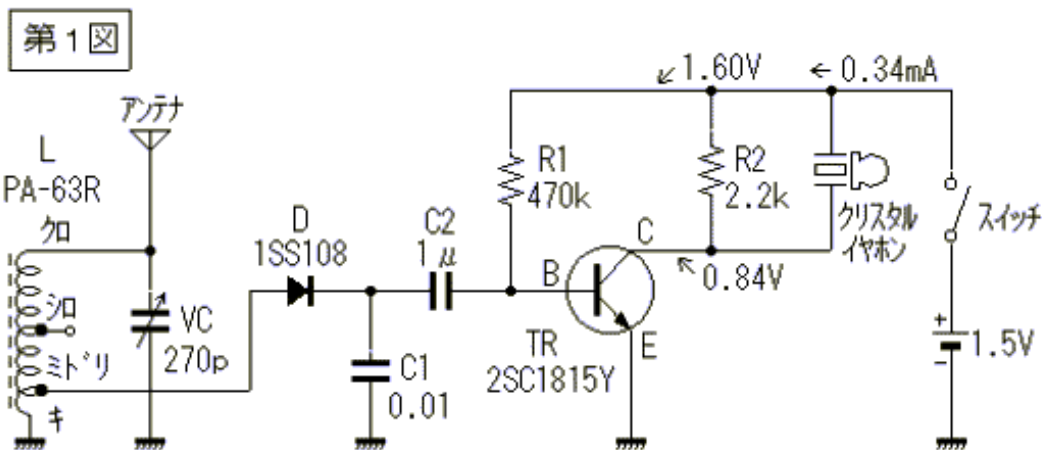
同調

検波

低周波増幅



クリスタルイヤホン



webで拾ってきたラジオの例

- 低周波増幅のみ、高周波増幅をしないラジオ

アンテナ

同調

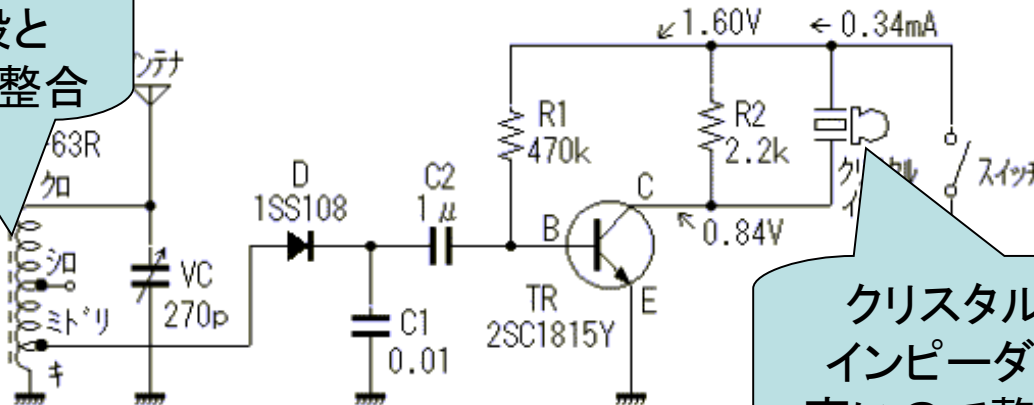
検波

低周波増幅



クリスタルイヤホン
インピーダンス: 50k Ω ~100k Ω

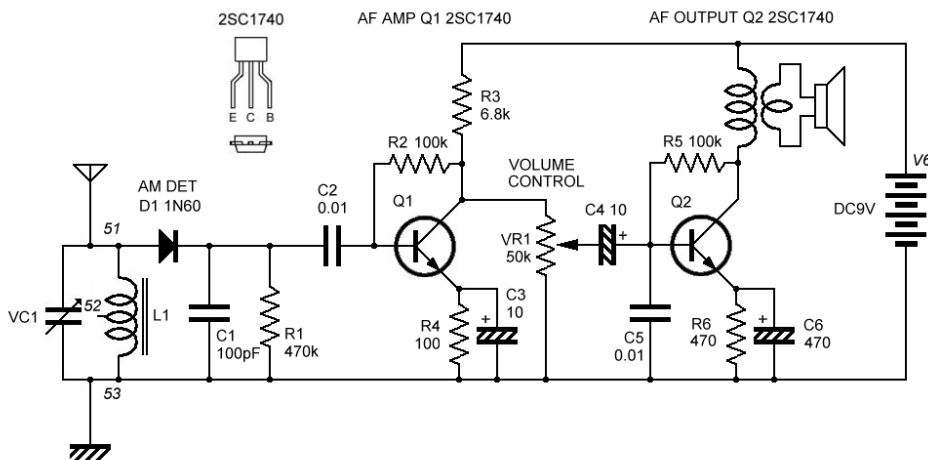
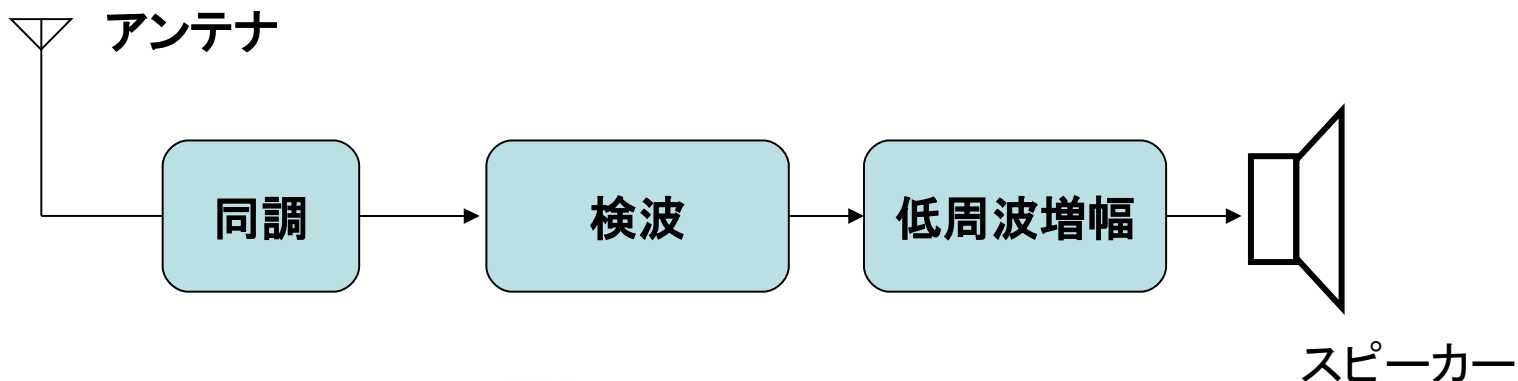
このトランスで
同調・検波段と
低周波増幅の整合



クリスタルイヤホンの
インピーダンスはとても
高いので整合が要らない

webで拾ってきたラジオの例

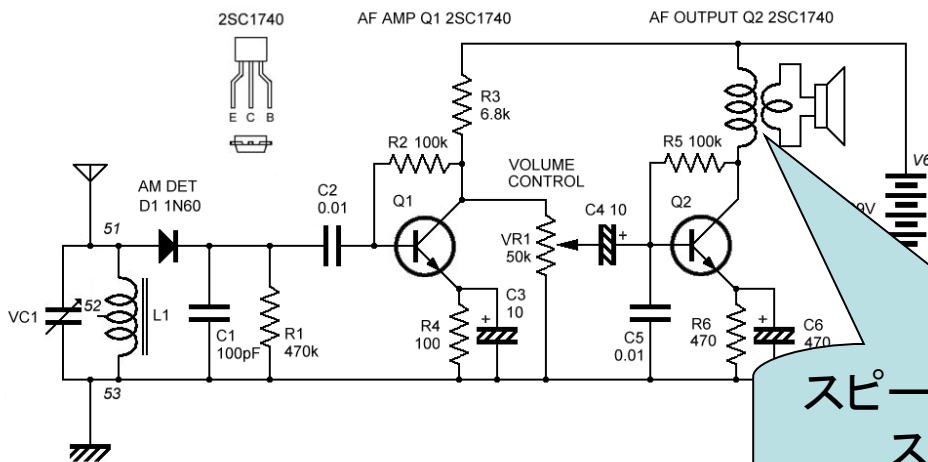
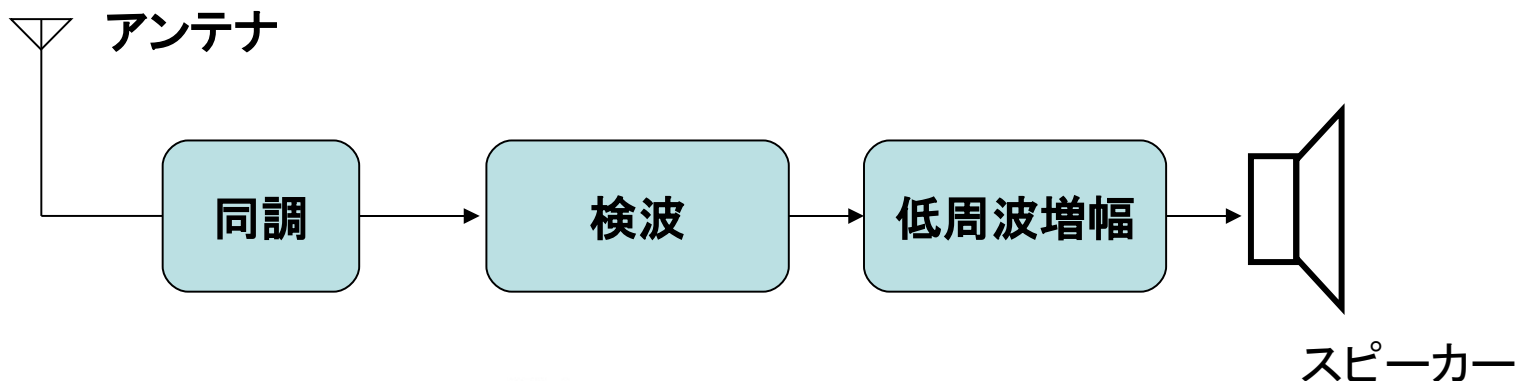
- 低周波増幅のみ、高周波増幅をしないラジオその2



EL500 2 TRANSISTOR AM RECEIVER

webで拾ってきたラジオの例

- 低周波増幅のみ、高周波増幅をしないラジオその2



EL500 2 TRANSISTOR AM RECEIVER

スピーカーの低インピーダンスに合わせるため、トランスで整合を取っている

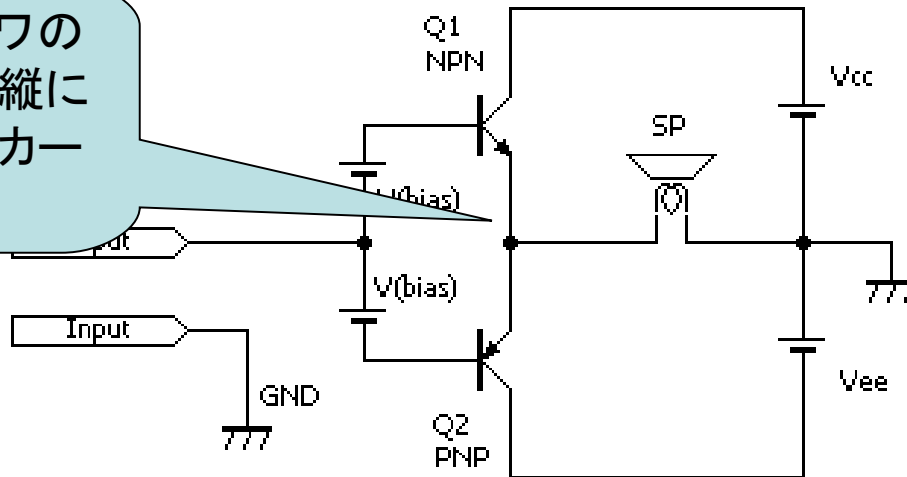
エミッタフォロワによる整合

- 前回作ったエミッタ接地回路に出カインピーダンス数百 Ω 程度のエミッタフォロワをつけてみる
 - シミュレータで試す

エミッタフォロワによる整合

- Single Ended Push Pull (SEPP) 回路と呼ばれる有名な回路

エミッタフォロワの
トランジスタを縦に
並べてスピーカ
を鳴らす



まとめ

- インピーダンス整合
 - 電子回路と電子回路を繋ぐときに考えること
 - 電力と影響
- 整合の取り方
 - トランスによる整合
 - エミッタフォロワによる整合

回路図引用元

- <http://www.noobowsystems.com/index.html>
- <http://bbradio.hp.infoseek.co.jp/index.html>
– どちらも面白い解説つきでおすすめ