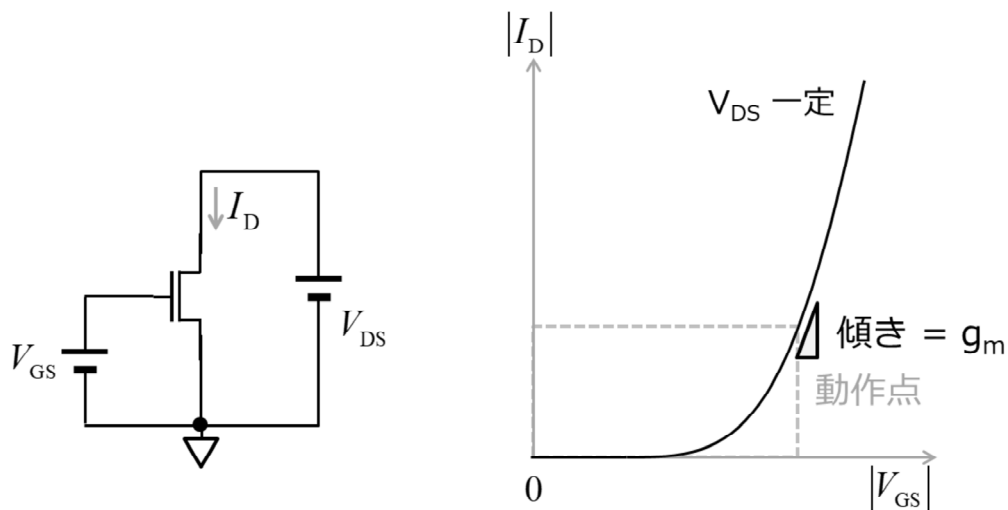


トランジスター小信号増幅回路

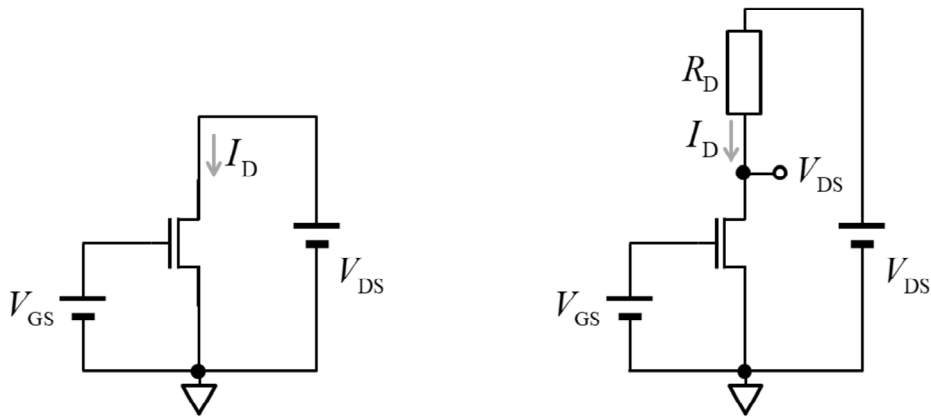
MOSFETでの小信号変換



□ MOSFETでの電圧小信号と電流小信号の変換

- MOSFETは、電圧信号を電流信号へ変換する素子として用いることができる。
- 例えば静特性のなかで I_D - V_{GS} 特性を考える。
- 電圧が時間的に変化する電圧信号を V_{GS} に重ねると、それは電流信号として I_D に現れる。
- このときの変換の係数は「相互コンダクタンス」と呼ばれ、記号 g_m [Ω^{-1}] が用いられる。

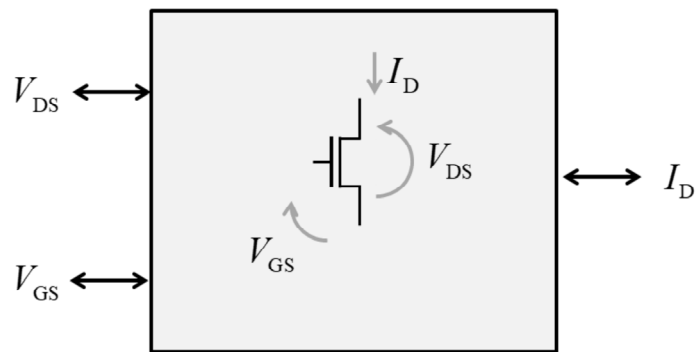
MOSFETでの小信号電圧増幅



□ MOSFETでの電圧小信号の増幅

- ・ MOSFETの「小信号変換」をする機能を利用することで、電圧信号を入力して電圧信号を出力する「電圧信号増幅器」を実現することができる。
- ・ ゲートソース間電圧 V_{GS} に電圧信号を入力する。
- ・ MOSFETによってドレイン電流 I_D に電流信号が現れる。
- ・ この電流を抵抗に通すことで、電流変化が抵抗の両端での電位差に変換される。
- ・ この電位差を出力として取り出すことで、電圧信号が出力される。
- ・ 入力された電圧信号の振幅に対して出力された電圧信号の振幅が大きければ、電圧信号が増幅されたことになる。

信号増幅器としてみたMOSFET

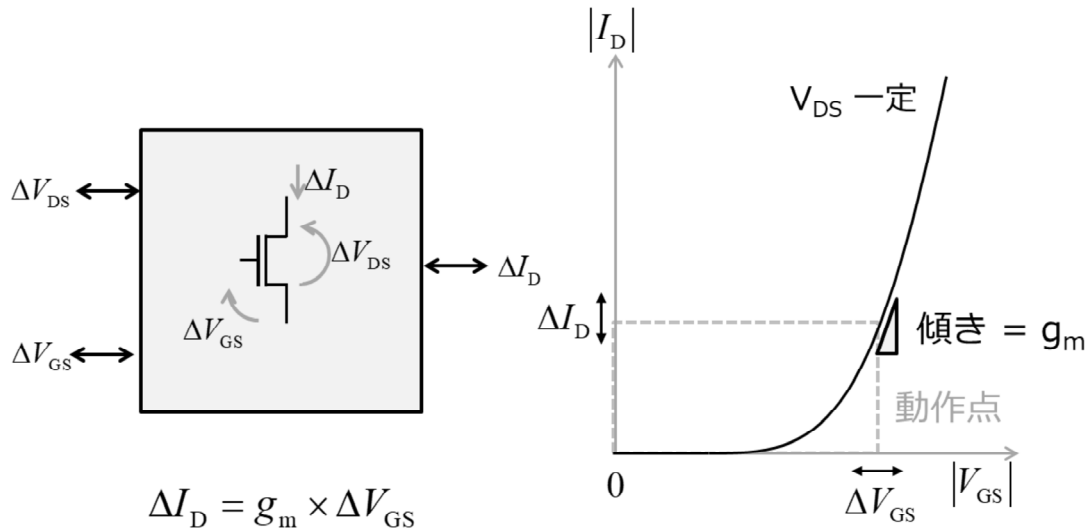


2入力1出力の増幅器（変換器）

□ 信号増幅器としてみたMOSFET

- MOSFETを小信号を増幅する増幅器として見る。
- MOSFETでは、その動作状態を表す変数として V_{GS} , V_{DS} , I_D の3つがある。
- そのうちの2つを与えれば、残りの1つが決定される。
- たとえば、 V_{GS} と V_{DS} を与えれば、 I_D が決定される。
- このため、MOSFETは2変数を入力として残りの1変数を出力とする小信号増幅器（あるいは変換器）とみなすことができる。

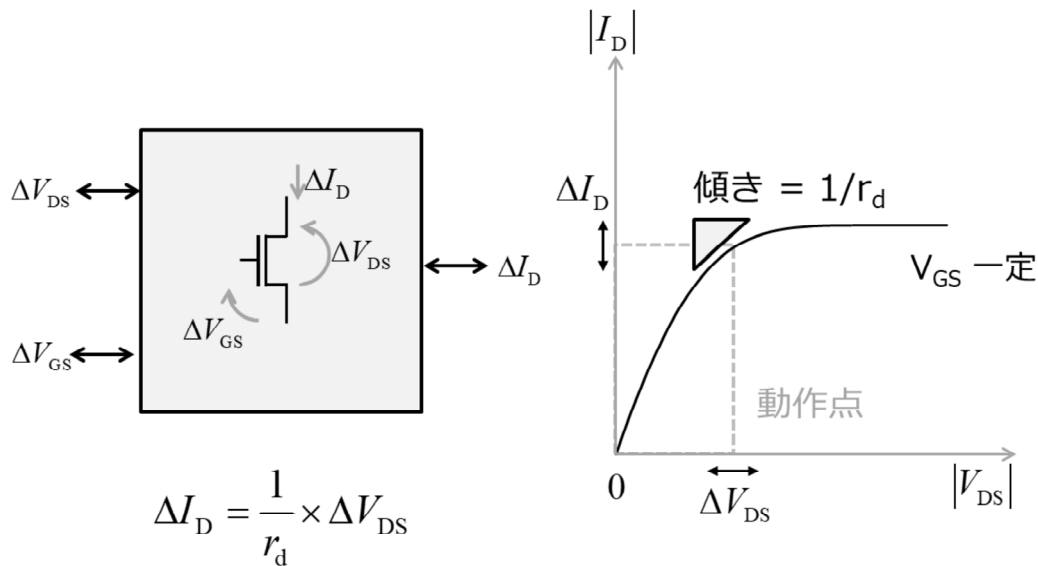
MOSFETの小信号特性: $\Delta V_{DS} = 0$ のとき



□ MOSFETの小信号特性: V_{DS} 一定のとき

- MOSFETの小信号特性は、動作点における静特性の傾きによって表される。
- まず、 ΔV_{GS} [V] を入力信号とみなす。
- これは、 V_{DS} を一定として ΔV_{DS} をゼロとすることを意味する。
- このとき、 V_{GS} [V] と I_D [A] の間には図のような静特性の関係が成り立つ。
- 小信号の間の比例係数は静特性中の動作点における傾きによって決まり、相互コンダクタンス g_m [Ω^{-1}] に他ならない。
- この結果、ドレイン電流の小信号とゲート電圧の小信号振幅の間には、スライド中の式のような関係が成り立つ。

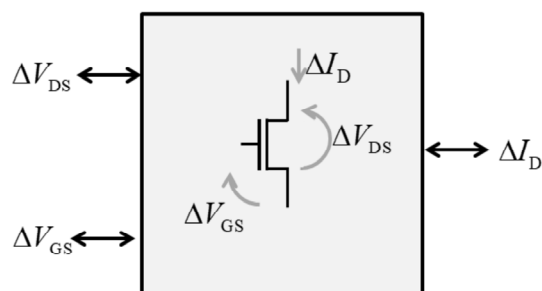
MOSFETの小信号特性:

 $\Delta V_{GS} = 0$ のとき

□ MOSFETの小信号特性: V_{GS} 一定のとき

- つぎに、 ΔV_{DS} [V] を入力信号とみなす。
- これは、 V_{GS} を一定として ΔV_{GS} をゼロとすることを意味する。
- このとき、 V_{DS} [V] と I_D [A] の間には図のような静特性の関係が成り立つ。
- この時の小信号の間の比例係数は静特性中の動作点における傾きによって決まり、ドレイン抵抗 r_d [Ω] によって特徴づけられる。
- この結果、ドレイン電流の小信号とドレイン電圧の小信号の間には、スライド中の式のような関係が成り立つ。

MOSFETの小信号特性: 一般的に



$$\Delta I_D = g_m \times \Delta V_{GS}$$

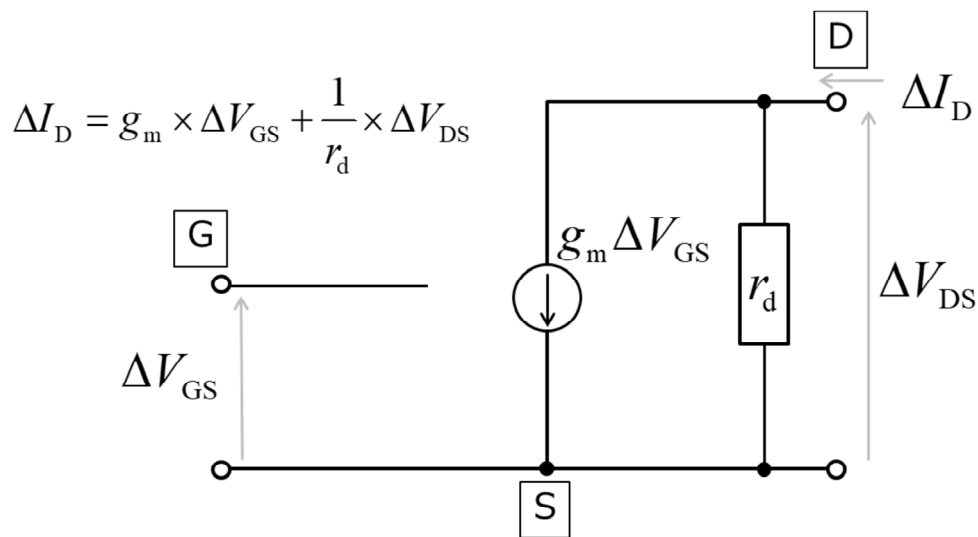
$$\Delta I_D = \frac{1}{r_d} \times \Delta V_{DS}$$

$$\Delta I_D = g_m \times \Delta V_{GS} + \frac{1}{r_d} \times \Delta V_{DS}$$

□ MOSFETの小信号特性: 一般的に

- ・ 一般には、二つの入力 V_{GS} [V] および V_{DS} [V] は同時に変化することもありうる。
- ・ すなわち、 ΔV_{GS} および ΔV_{DS} が同時に入力することがある。
- ・ このような場合には、以上の入力信号と出力信号の関係を重ね合わせて、スライド中の式のように一般的に書くことができる。

MOSFETの小信号等価回路



□ MOSFETの小信号等価回路

1. ゲートソース間

- ・この端子間はゲート絶縁膜により絶縁されており、電流は全く生じないと考えてよい。
- ・しかしながら、この電圧はゲート絶縁膜の電気容量を通じた静電的結合によってソースドレイン間電流に影響を及ぼし得る。

・このためゲートソース間の小信号等価回路は、図のようにソースともドレインとも分断された端子として表される。

2. ソースドレイン間

- ・この端子に流れる交流電流信号 ΔI_D [A] は、電流が ΔV_{GS} [V] に比例して発生する「電流源」により表現される。
- ・ ΔV_{DS} [V] に比例する成分では、電圧が電流に比例して発生するため「抵抗」によって表現され、その抵抗値はドレイン抵抗で与えられる。
- ・以上から、ソースドレイン間の関係は図のような回路で表される。

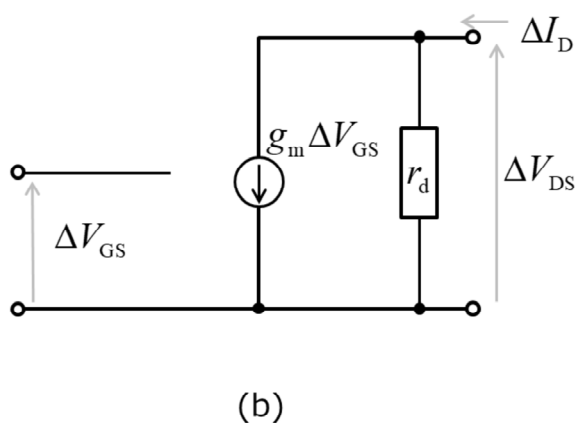
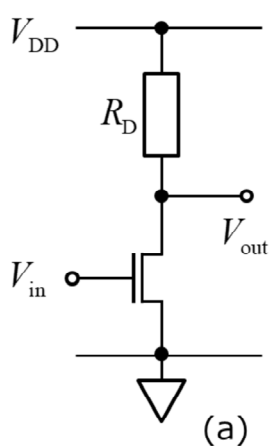
3. まとめると

- ・以上から、MOSFETが交流小信号に対して見せる入出力特性を回路素子の組み合わせによって表現すると、スライド中の図のようなものになる。

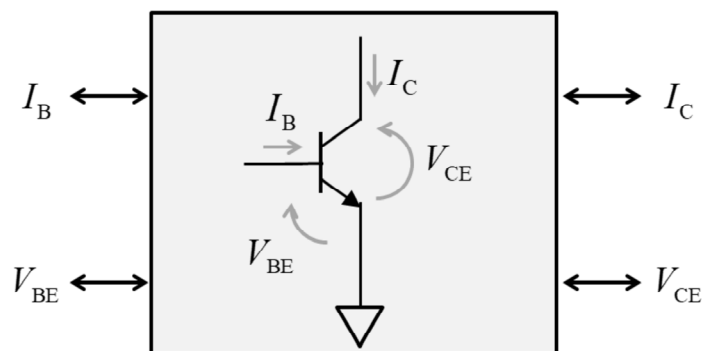
例題018

図(a)のNMOSを用いた電圧信号増幅回路において、NMOS部分の小信号等価回路は図(b)のようにかける。このとき、

1. 図(a)の回路全体の小信号等価回路をかけ。
2. この小信号等価回路をもとに、図(a)の増幅回路の電圧増幅率を計算せよ。



BJTの入力と出力



2入力2出力の信号変換器

□ BJTの端子

- ・図のようなBJTを考える。
- ・エミッタ端子 (E) を基準としてベース端子 (B) とコレクタ端子 (C) に印可された電圧を V_{BE} [V] および V_{CE} [V] とする。
- ・ベースおよびコレクタに流入する電流をそれぞれ I_B [A] および I_C [A] とする。

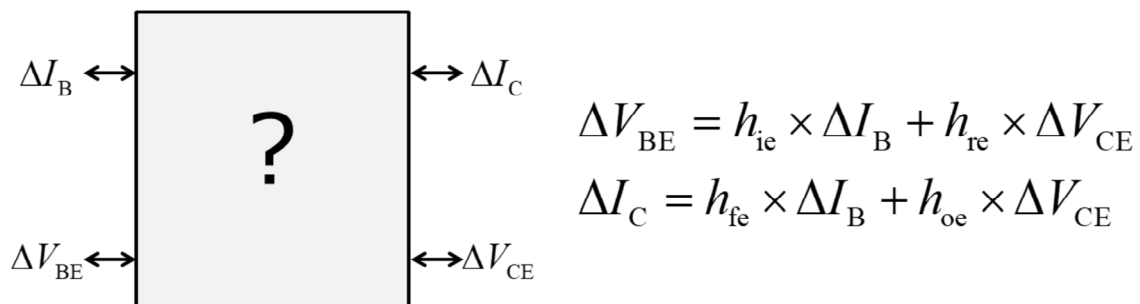
□ BJTの入力と出力

- ・BJTでは、その動作状態を表す変数として V_{BE} , V_{CE} , I_B , I_C の4つがある。
- ・そのうちの2つを与えれば、残りの2つが決定される。
- ・たとえば、 V_{BE} と V_{CE} を与えれば、 I_B と I_C が決定される。
- ・このため、BJTは2変数を入力として残りの2変数を出力とする増幅器（あるいは変換器）とみなすことができる。

□ BJTでの入力変数の選択

- ・入力として与えるものは V_{BE} [V] と V_{CE} [V] という組み合わせである必要はなく、4変数のうち好きな2変数を入力として選ぶことができる。
- ・たとえば入力を I_B [A] と V_{CE} [V] という組み合わせにして、 I_C [A] と V_{BE} [V] を出力とみなすことも可能である。
- ・この場合、BJTのベースには強制的に一定の電流を流しこむ「電流源」を接続し、コレクタエミッタ間には強制的に一定の電圧を印可する「電圧源」を接続すればよい。
- ・そのとき、ベースエミッタ間の電圧を電圧で測定し、コレクタ電流を電流計で測定すれば、 V_{BE} [V] と I_C [A] が出力として得られる。

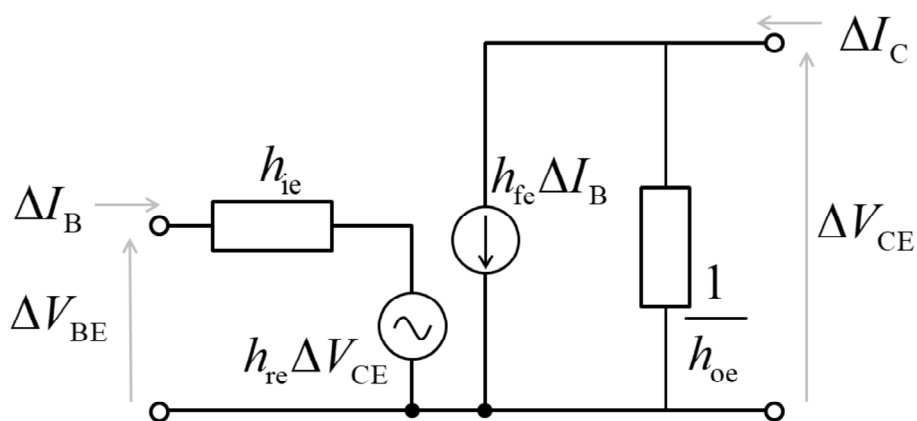
BJTの小信号等価回路を考える



□ BJTの小信号等価回路を考える

- ・BJTにおいても小信号等価回路を考えることができるが、抵抗やダイオードにくらべてやや複雑である。
- ・小信号等価回路のもとになるものは、各変数 I_B , I_C , V_{BE} , V_{CE} の変化（信号） ΔI_B , ΔI_C , ΔV_{BE} , ΔV_{CE} の間に成り立つ関係式である。
- ・BJTの小信号特性から、この関係式は図中の式によって表されることが分かっている。
- ・この式にしたがって、交流信号からみたBJTの見かけの回路図を探る。

BJTの小信号等価回路



$$\Delta V_{BE} = h_{ie} \times \Delta I_B + h_{re} \times \Delta V_{CE}$$

$$\Delta I_C = h_{fe} \times \Delta I_B + h_{oe} \times \Delta V_{CE}$$

□ BJTの小信号等価回路

1. ベースエミッタ間

- ・この端子間に発生する交流電圧信号 ΔV_{BE} [V] は、 ΔI_{BE} [A] に比例する成分と、 ΔV_{CE} [V] に比例する成分の和で与えられる。
- ・ ΔI_{BE} [A] に比例する成分では、電圧が電流に比例して発生するため、「抵抗」によって表現され、その抵抗値は比例係数で与えられる。
- ・ ΔV_{CE} [V] に比例する成分では、電圧が電圧に比例して発生するため、「電圧源」によって表現され、その起電力はコレクタエミッタ間に関係する ΔV_{CE} に比例する。
- ・以上から、ベースエミッタ間の関係は図のような回路で表される。

2. コレクタエミッタ間

- ・この端子に流れる交流電流信号 ΔI_{CE} [A] は、 ΔI_{BE} [A] に比例する成分と、 ΔV_{CE} [V] に比例する成分の和で与えられる。
- ・ ΔI_{BE} [A] に比例する成分では、電流が電流に比例して発生するため、「電流源」によって表現され、その電流量はベースエミッタ間に関係する I_{BE} [A] に依存する。
- ・ ΔV_{CE} [V] に比例する成分では、電圧が電流に比例して発生するため、「抵抗」によって表現され、その抵抗値は比例係数の逆数で与えられる。
- ・以上から、コレクタエミッタ間の関係は図のような回路で表される。

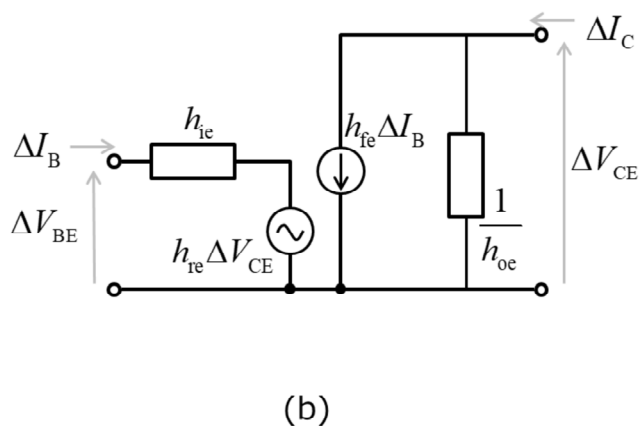
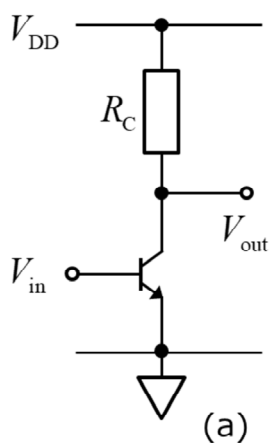
3. まとめると

- ・以上から、BJTが交流信号に対して見せる入出力特性は、それを簡単な回路素子の組み合わせによって表現すると図のようなものになる。

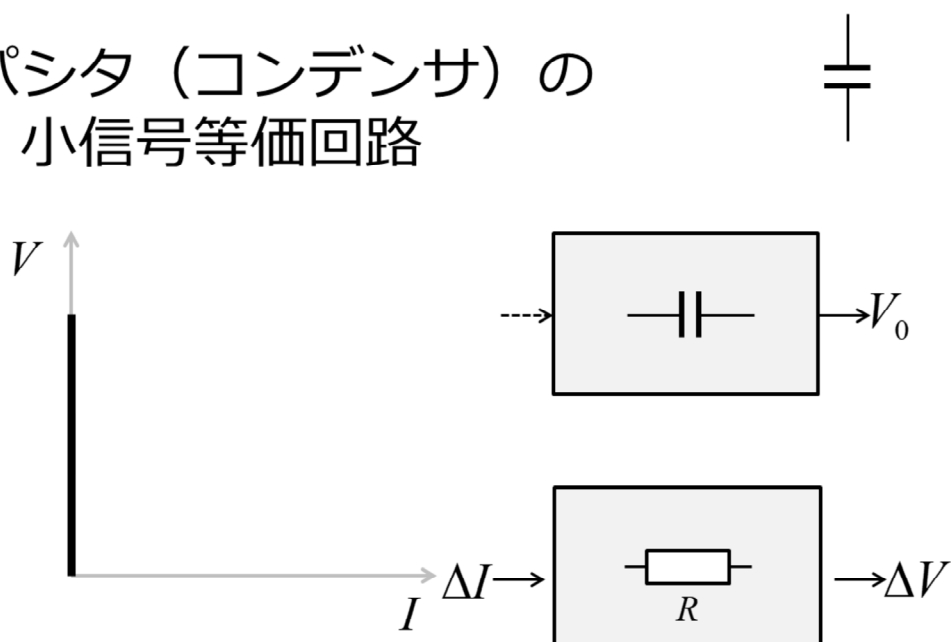
例題019

図(a)の電圧信号増幅回路において、BJT部分の小信号等価回路は図(b)のようにかける。このとき、

1. 図(a)の回路全体の小信号等価回路をかけ。
2. この小信号等価回路をもとに、図(a)の増幅回路の電圧増幅率を計算せよ。
ただし、 $h_{re} = h_{oe} = 0$ と近似できるものとする。



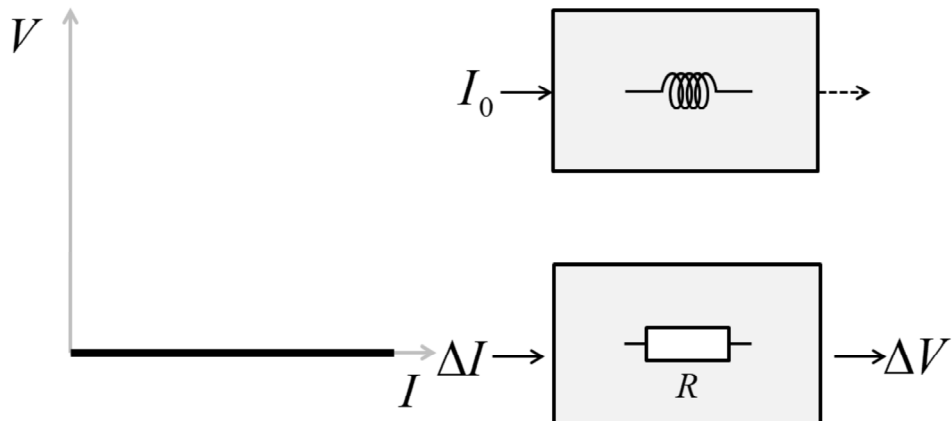
キャパシタ（コンデンサ）の 小信号等価回路



□ キャパシタ（コンデンサ）の小信号等価回路

- ・キャパシタは、今まで見てきた抵抗やダイオードやBJTとは少し異なる小信号特性を持つ。
- ・キャパシタの小信号特性は、直流動作を表す静特性の傾きとして与えられるのではなく、交流信号の周波数によって決まるインピーダンスを持った「抵抗」としてみなす。
- ・実際に、キャパシタの両端に直流電圧を印可しても直流電流は発生することはない、直流電流と直流電圧の関係は図のようになる。
- ・この傾きをとってもキャパシタの交流電圧と直流電圧の関係を得ることはできず、あくまでインピーダンスによって判断する必要がある。

インダクタ（コイル）の 小信号等価回路



□ インダクタ（コイル）の小信号等価回路

- ・インダクタもキャパシタと同様に、今まで見てきた抵抗やダイオードやBJTとは少し異なる小信号特性を持つ。
- ・インダクタの小信号特性は、直流動作を表す静特性の傾きとして与えられるのではなく、交流信号の周波数によって決まるインピーダンスを持った「抵抗」としてみなす。
- ・実際に、キャパシタの両端に直流電流を印可しても直流電圧は発生することはない、直流電流と直流電圧の関係は図のようになる。
- ・この傾きをとってもインダクタの交流電圧と直流電圧の間関係を得ることはできず、あくまでインピーダンスによって判断する必要がある。

例題020

図(a)の電圧信号増幅回路において、NMOS部分の小信号等価回路は図(b)のようにかける。このとき次の問いに答えよ。

1. NMOSの直流ゲート電圧をバイアス回路の抵抗を用いて表せ。
2. 図(a)の回路全体の小信号等価回路をかけ。
3. 電圧増幅率を計算せよ。キャパシタのインピーダンスは無視してよい。

