

回路システム学第二(13)

2019.7.22

担当教官 山尾 泰

禁無断複製

先週の学習項目

1. R-L、R-C回路網の設計

- インピーダンス／アドミタンス関数からの展開

並列R-L, R-C回路の直列接続による実現

直列R-L, R-C回路の並列接続による実現

} 留数定理
による
係数決定

- 連分数による梯子型回路の表現

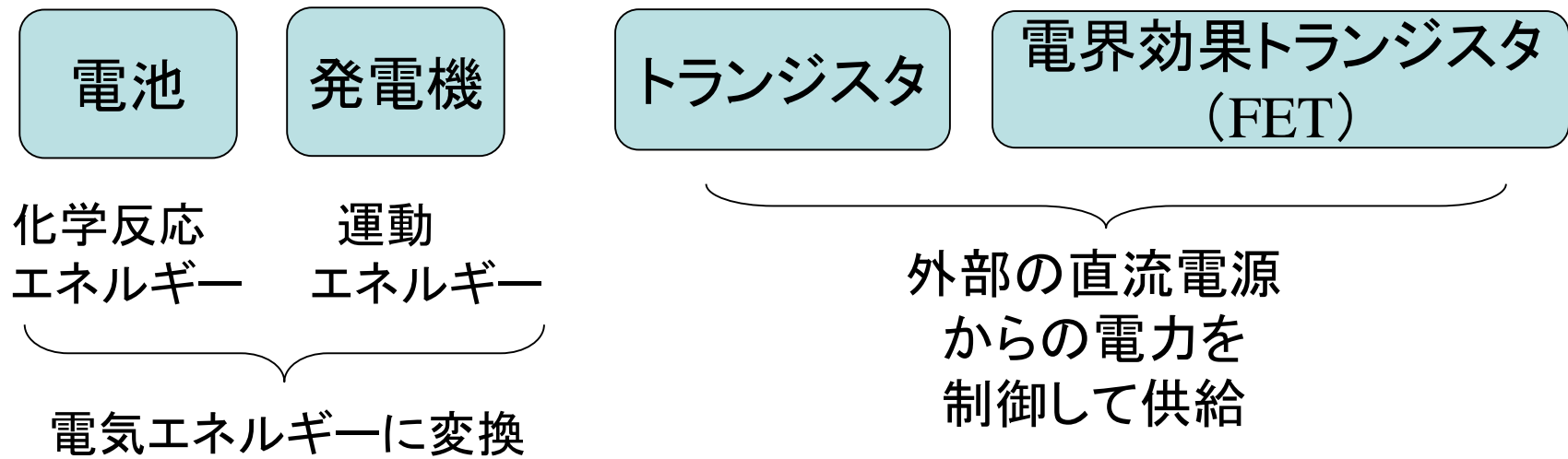
s 関数の最高次数から分子を分母で割る方法

s 関数の最低次数から分子を分母で割る方法

能動素子の回路表現

能動素子とは

回路素子内で電気エネルギーを発生できる回路素子

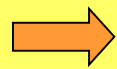


回路学では電気エネルギーの発生を「電圧源または電流源」を含む等価回路で表現する

能動素子の等価回路

能動素子に含まれる電圧源／電流源には、

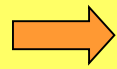
(1) 起電圧や起電流が回路の状態に依存しない**独立電源**



電池

発電機

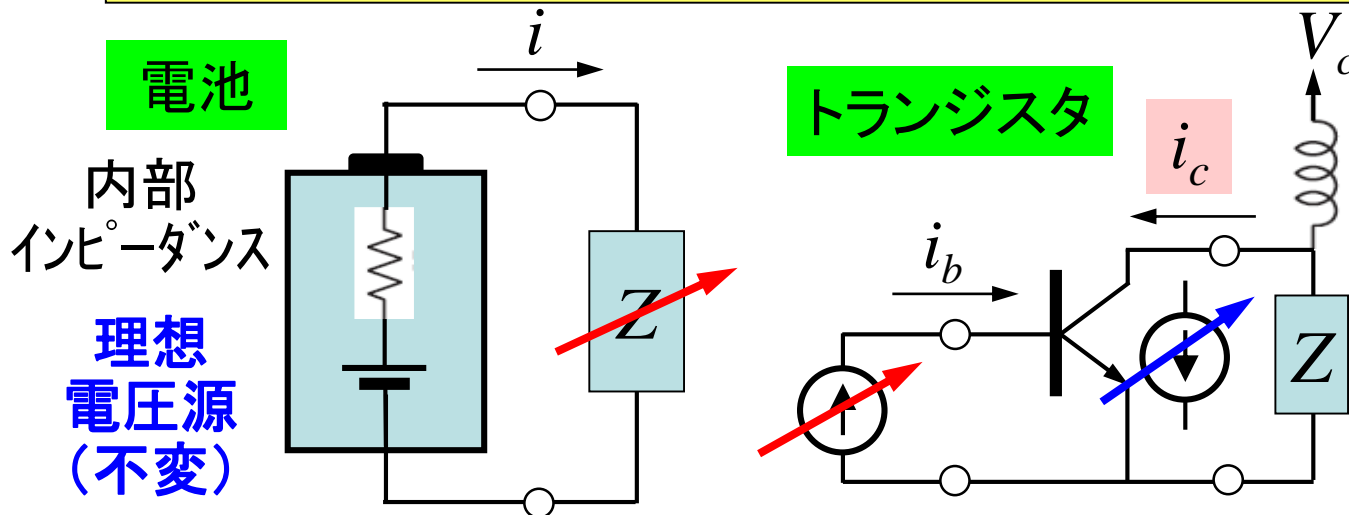
(2) 起電圧や起電流が回路の状態に依存する**従属電源**



トランジスタ

FET

がある。

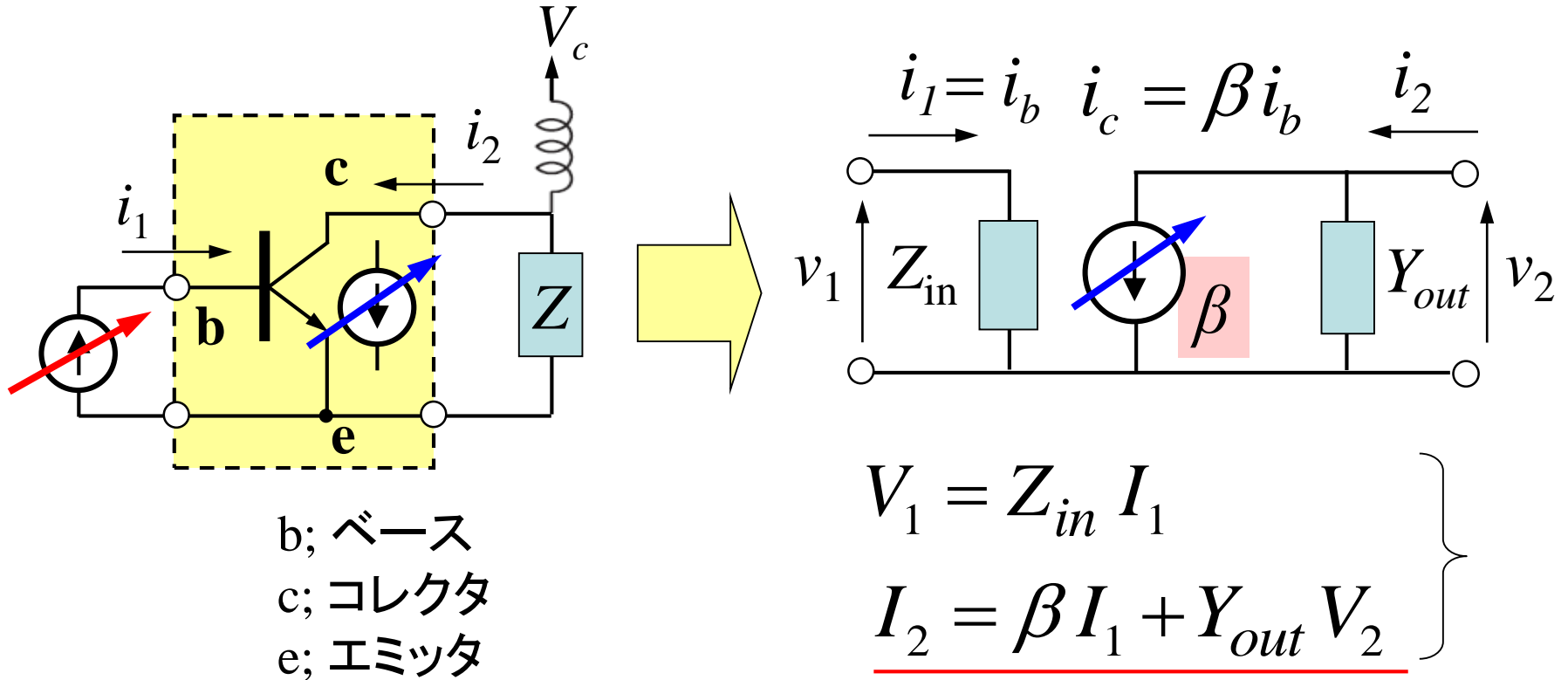


$$i_c = \beta i_b$$

従属電流源
(可変)

β ; 電流増幅率

例) トランジスタの等価回路

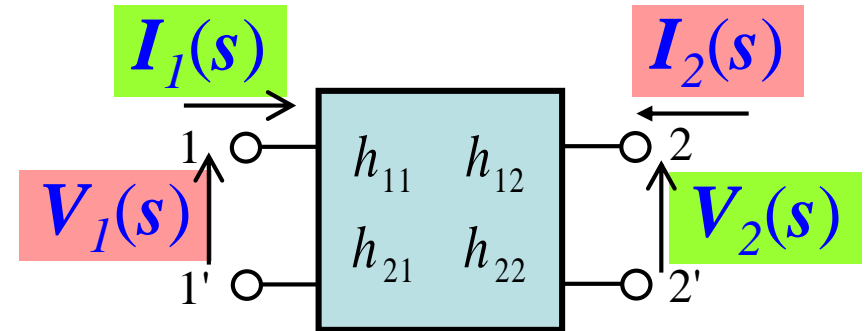
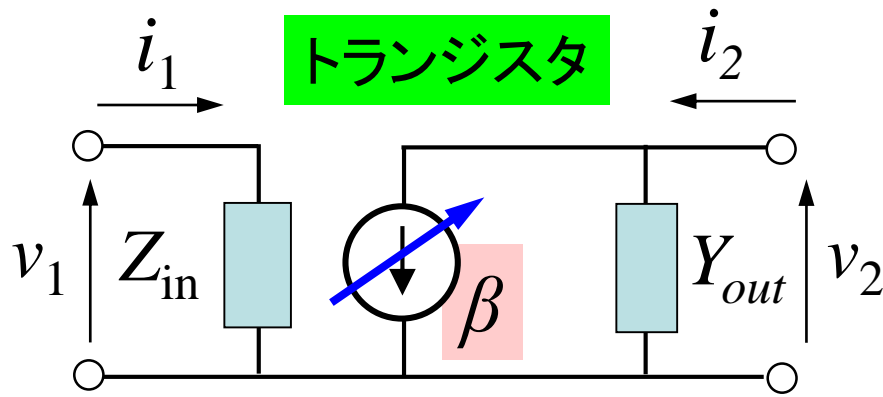


出力電流が入力電流と出力電圧との1次結合で定義されるならばトランジスタの等価回路を表す式は、H行列の形式になる。

2ポート回路の行列表示とは(第7回講義スライド)

2ポート回路の電圧、電流の回路網関数における関係を、より一般化して行列表示したもの

へ から	入力	出力
入力	<p style="text-align: center;">行列表示</p> <p style="text-align: center;">インピーダンス行列 アドミタンス行列 縦続行列 ハイブリッド行列 散乱行列</p> <p style="text-align: center;">→ 目的により適当な行列を使い分け</p>	
出力		

トランジスタのハイブリッド行列 (H 行列) 表示

$$\left. \begin{cases} V_1 = Z_{in} I_1 \\ I_2 = \beta I_1 + Y_{out} V_2 \end{cases} \right\} \Leftrightarrow \left\{ \begin{cases} V_1 = h_{11} I_1 + h_{12} V_2 \\ I_2 = h_{21} I_1 + h_{22} V_2 \end{cases} \right.$$

従属電源を含む能動素子は
2ポート行列で
取り扱うことができる。

h_{11} : 出力短絡入力インピーダンス

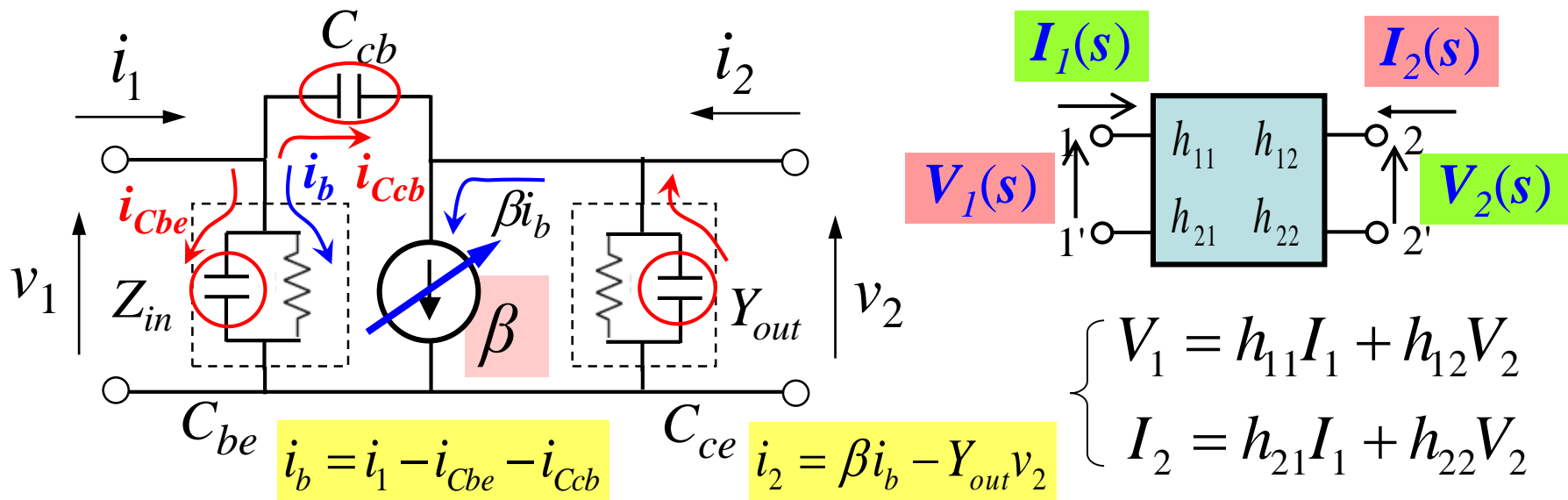
h_{12} : 入力開放電圧帰還比

h_{21} : 出力短絡電流伝達関数

h_{22} : 入力開放出力アドミタンス

高周波でのトランジスタの等価回路

高周波動作では、トランジスタは内部の寄生容量の影響を受けるため、これを等価回路にも反映する必要がある



入力信号周波数が高くなると、これらの寄生容量によって
 入力・出力インピーダンス (h_{11} , $1/h_{22}$) の低下、
 電流伝達関数 (h_{21}) の減少、
 出力から入力への電圧帰還 (h_{12}) の増加 が発生

回路の非線形特性

能動素子は半導体などからできており、その入出力特性は受動素子を構成する導体や誘電体とは異なり、顕著な非線形性を示す。

入出力特性が線形

$$y = ax$$

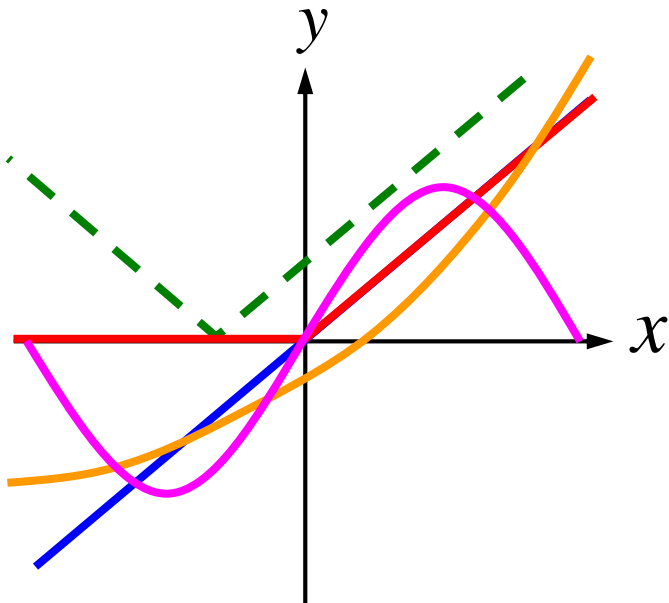
入出力特性が非線形

$$y = ax + bx^2 + c \quad (\text{2次以上の関数})$$

$$y = \sin x \quad (\text{正弦関数})$$

$$y = |ax + c| \quad (\text{絶対値関数})$$

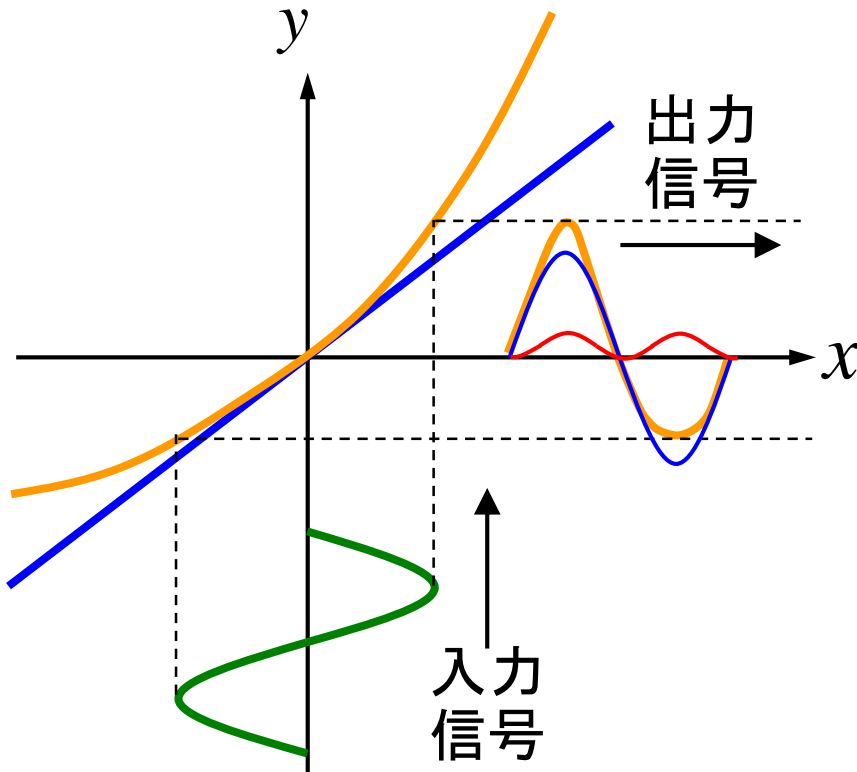
$$y = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ ax & (x \geq 0) \end{cases} \quad (\text{条件つき関数})$$



非線形回路からの出力信号

非線形回路の出力には
入力と相似でない成分(ひずみ)が含まれる。

入力信号として $x = A \sin \omega t$ を考える



例) 2次関数を含む入出力特性の場合

$$\begin{aligned}
 y &= ax + bx^2 \\
 &= aA \sin \omega t + bA^2 \sin^2 \omega t \\
 &= aA \sin \omega t + \frac{bA^2}{2} (1 - \cos 2\omega t)
 \end{aligned}$$

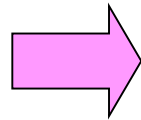
入力信号に
相似な成分

2倍の周波数の
ひずみ成分
(2次高調波)

回路の非線形と小信号等価回路

このような非線形性を有する回路でも、入力信号の微小変化に対しては、能動素子の**動作点での1次の係数**のみで近似した線形な動作をすることが一般的である。

したがって、回路が小信号で動作する時は線形動作に近似した等価回路が用いられる。



小信号等価回路

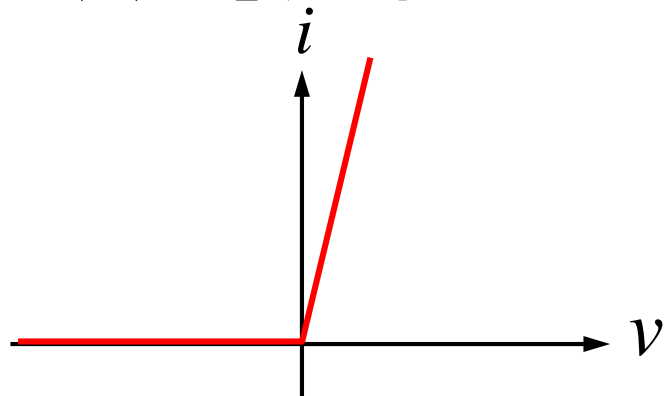
この場合、従来学んだ線形回路の解析法をそのまま使用できる。

大信号等価回路

一方、回路の大信号動作を等価回路で表す方法としては、

- (1) **理想非線形動作素子**を定義する方法
 - (2) **非線形関数を用いた従属電源**や、**従属抵抗などの非線形インピーダンス素子**を用いる方法
- などがある。

(1) 理想ダイオード

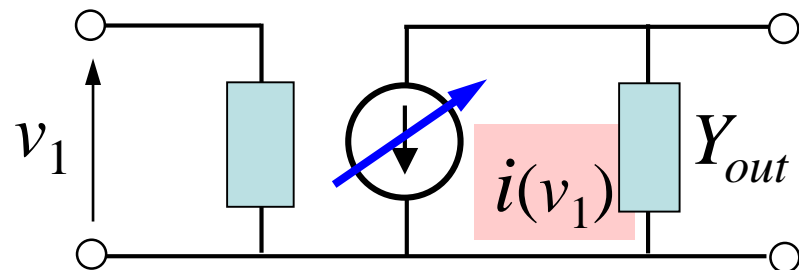


$$i = \begin{cases} 0 & (x < 0) \\ av & (x \geq 0) \end{cases}$$

(条件つき関数)

(2) 非線形関数による従属電源

$$\underline{i(v_1) = av_1 + bv_1^2}$$

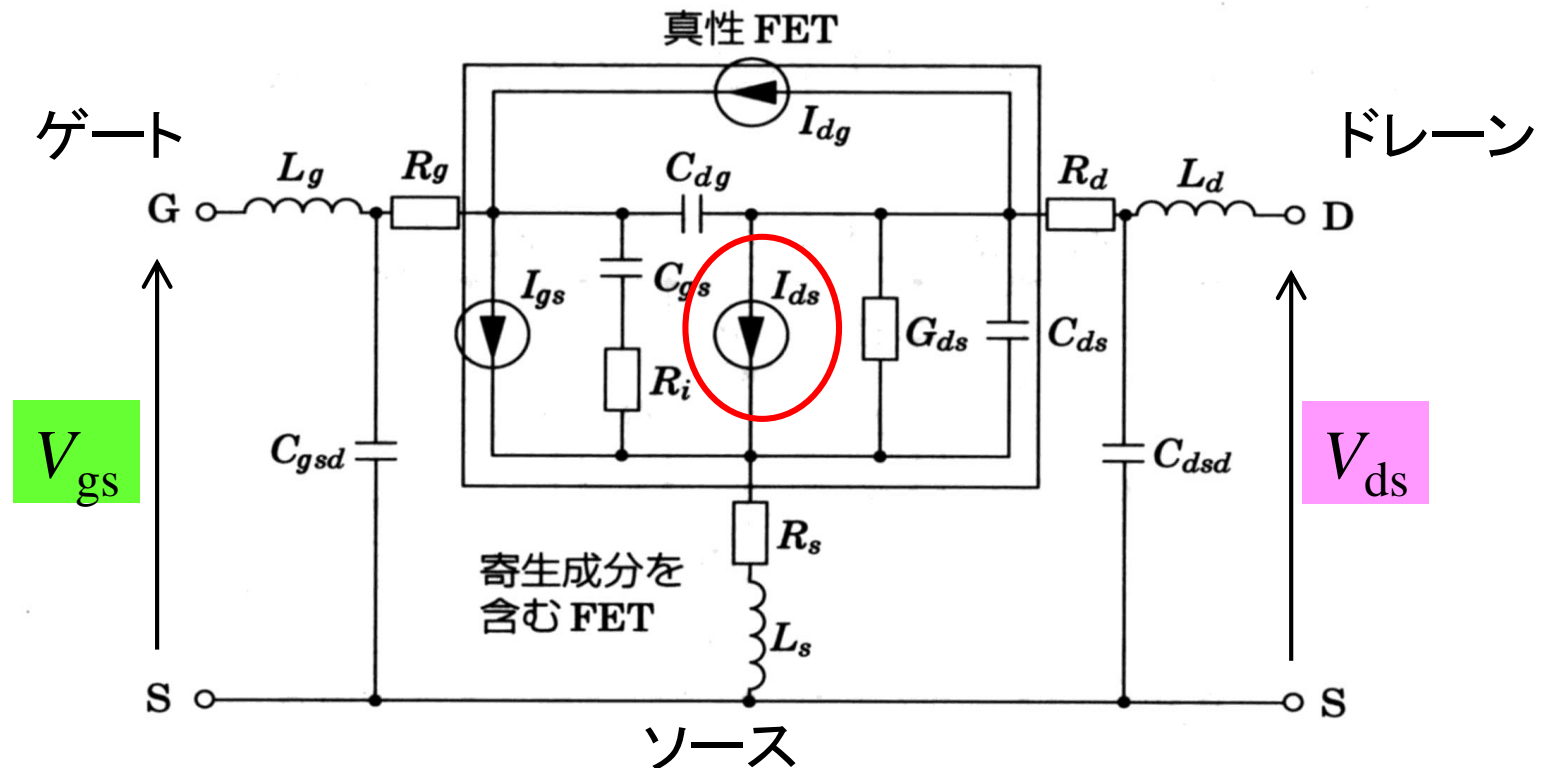


大信号等価回路の実際例

マイクロ波用FETの大信号等価回路としてよく用いられる
カーティス・エテンベルグモデルを以下に示す。

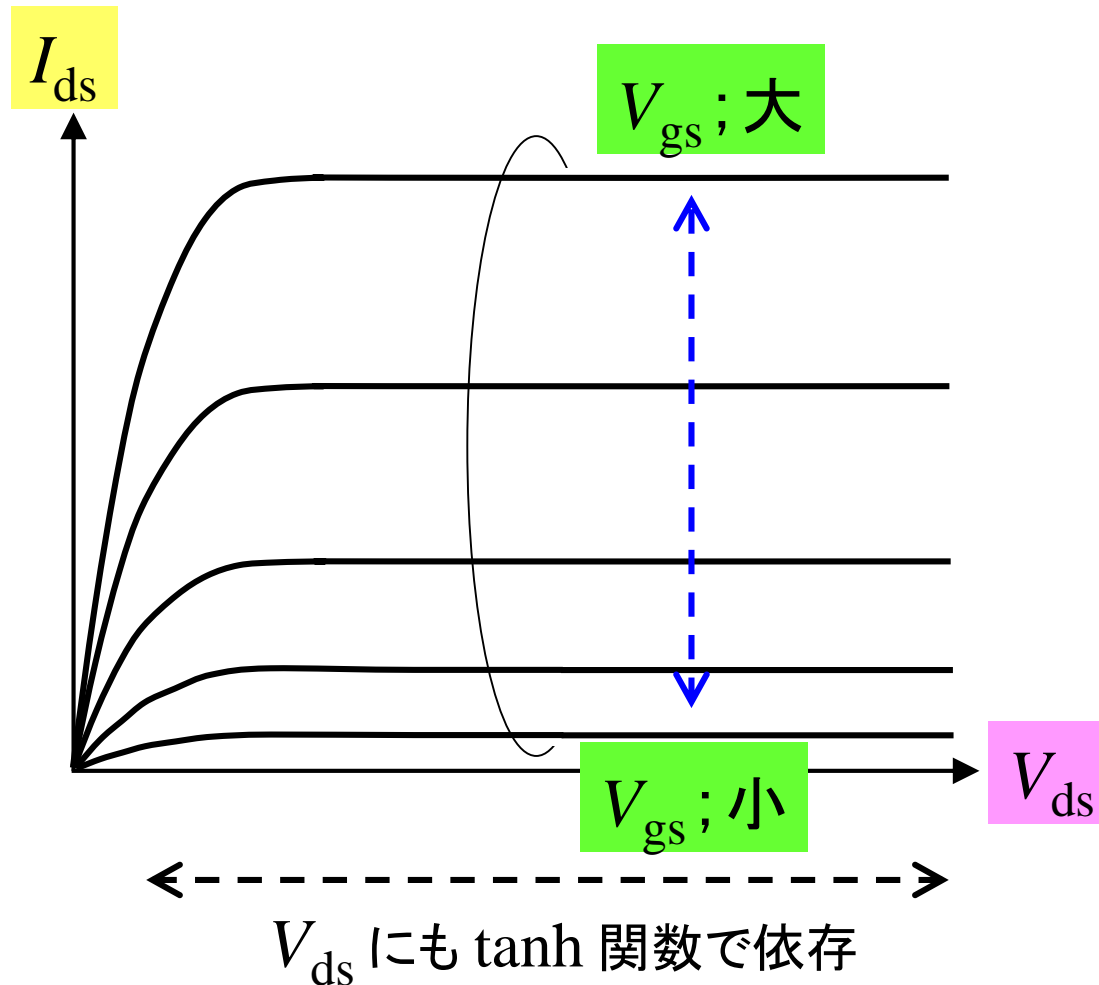
このモデルにおける I_{ds} は入力電圧 V_{gs} の 3次多項式 で表されている。

$$I_{ds} = (A_0 + A_1 V_{gs} + A_2 V_{gs}^2 + A_3 V_{gs}^3) \tanh(\gamma V_{ds})$$



FETの入出力直流特性

カーティス・エテンベルグモデルにおける I_{ds} は概ね以下のようなになる



非線形回路解析用プログラム

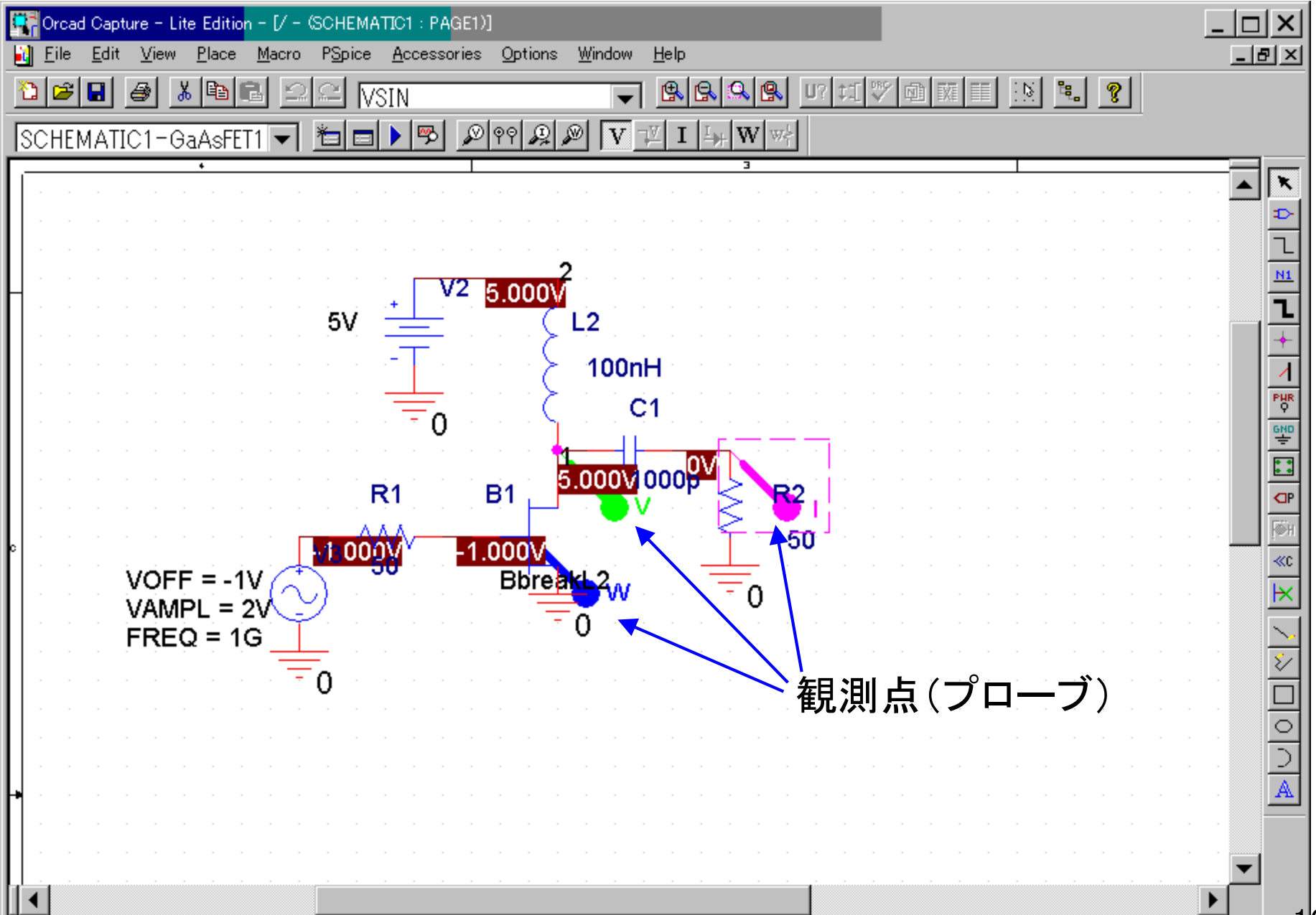
以上のような非線形要素を含む回路の解析には、アナログ回路シミュレータ(SPICE*等)を用いるのが便利である。

*SPICE (Simulation Program for Integrated Circuit Emphasis); 1970年代中期にカリフォルニア大学バークリー校(U.C.B)で開発されたアナログ回路解析シミュレータ。

現在、PSpice, LTSpiceなど様々なバリエーションがフリーソフトとして利用可能になっている。(以下の例ではPSpiceを使用)

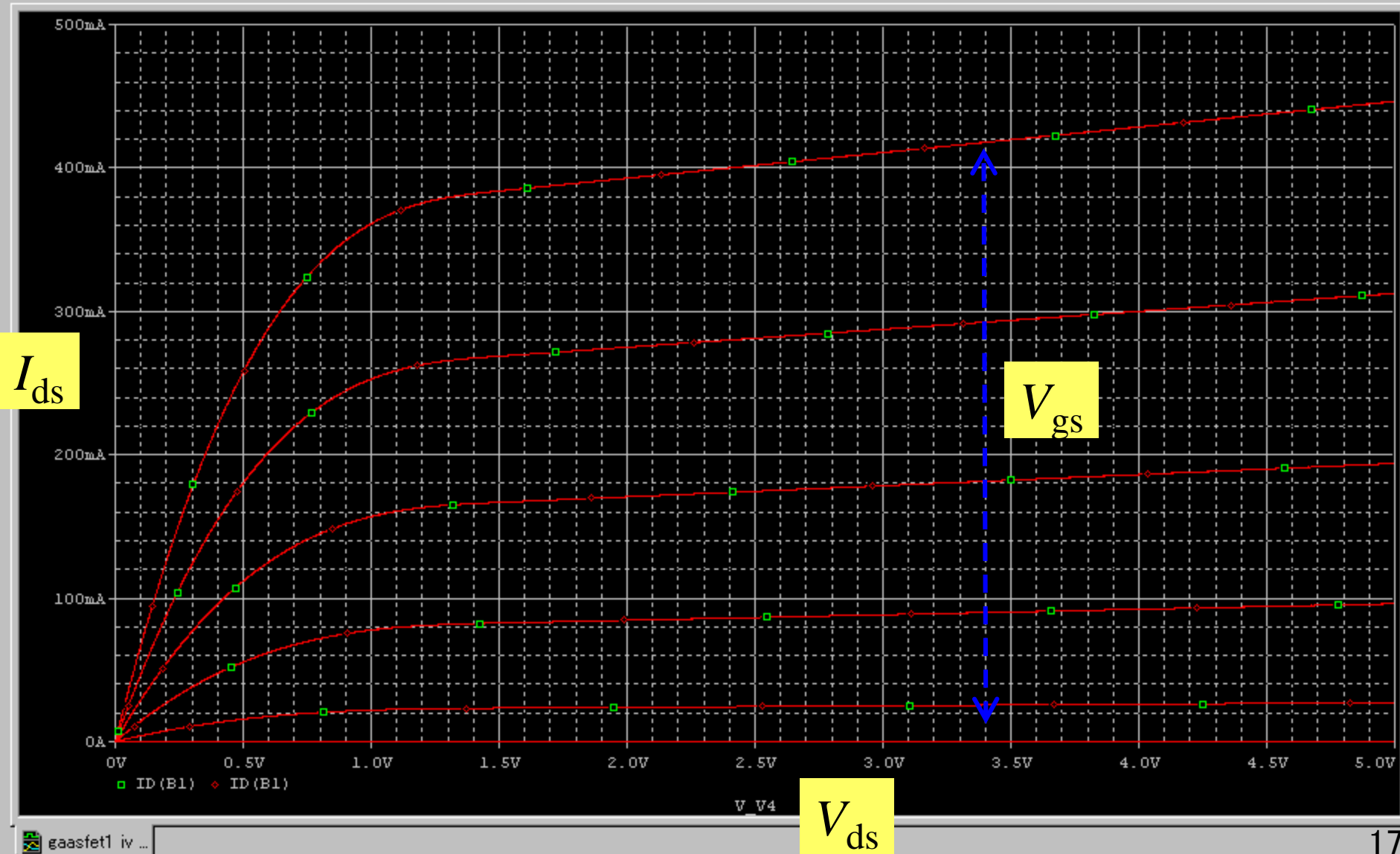
GaAs FETのカーティスモデルによるSPICE解析例を以下に示す。

SPICEによる高周波FET増幅器の解析



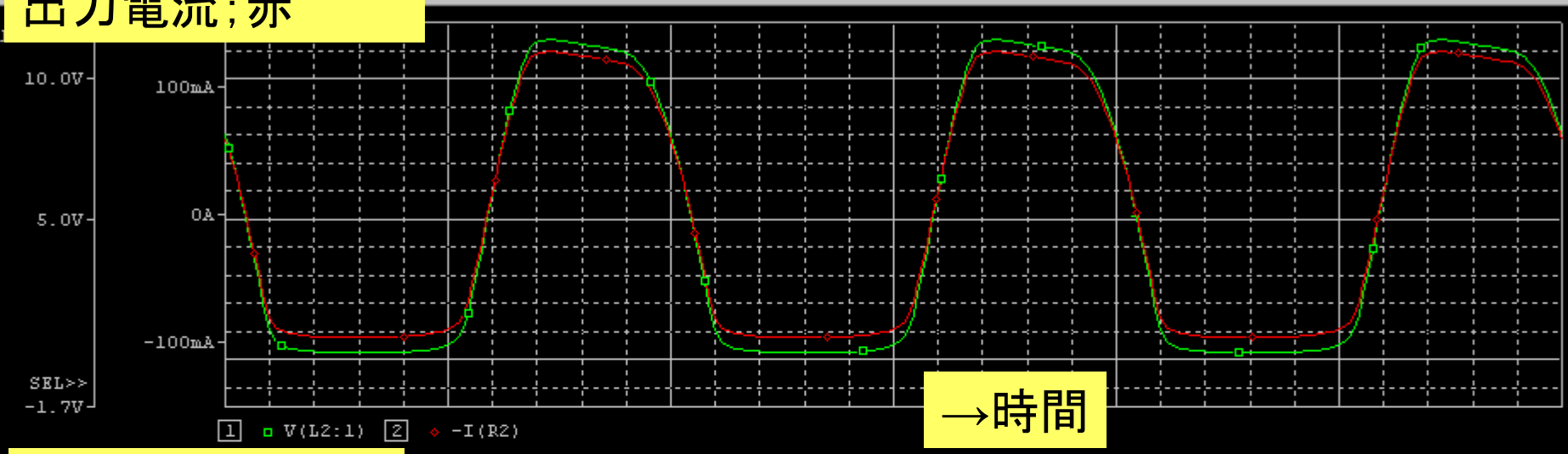
観測点(プローブ)

FET 入出力特性

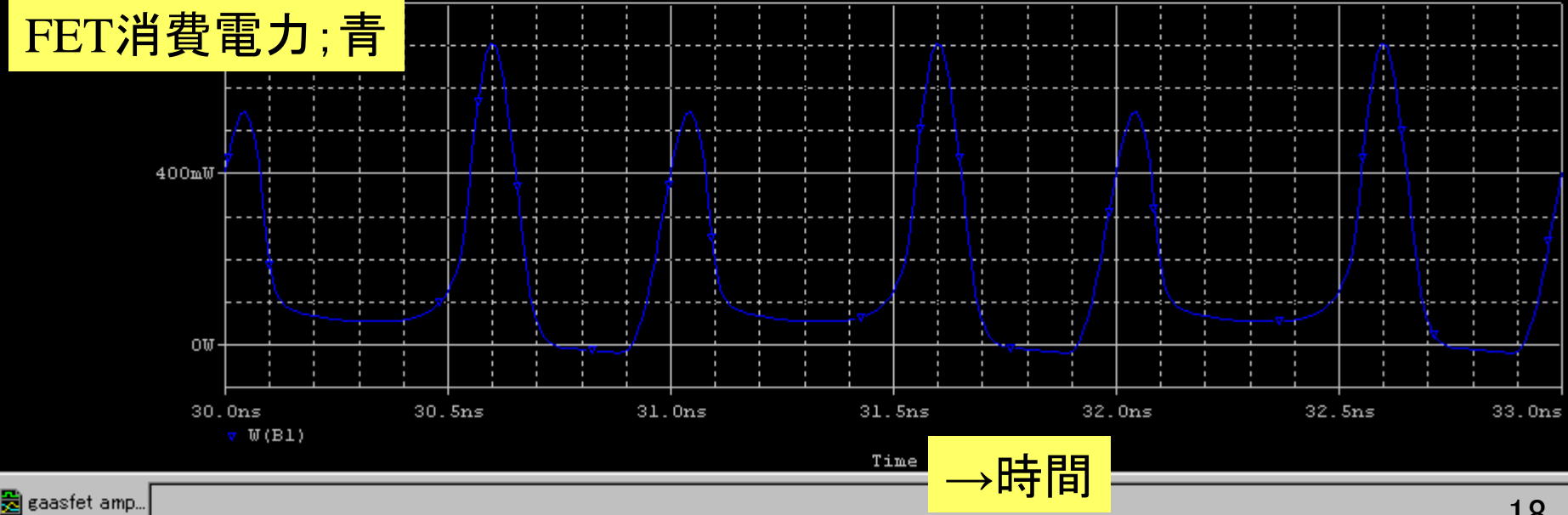


入力周波数 1GHz

FETドレイン電圧; 緑
出力電流; 赤

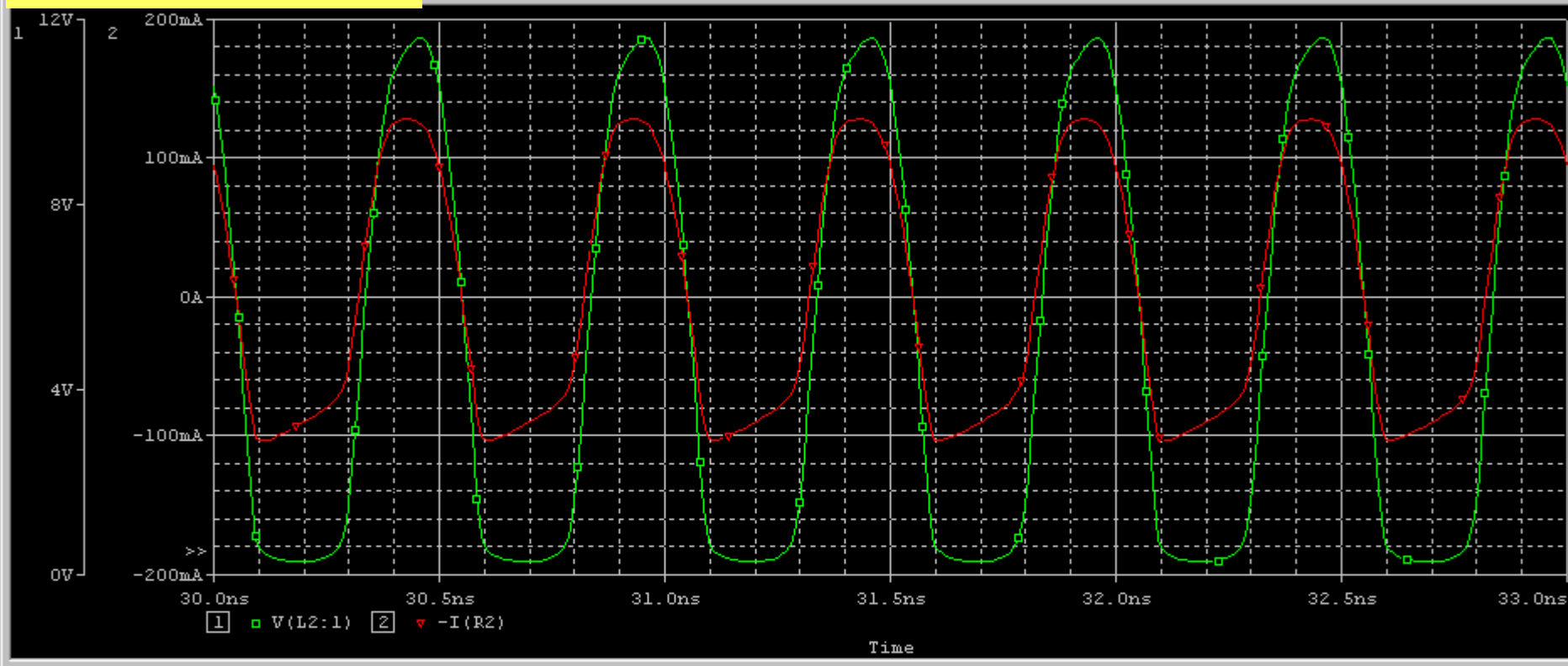


FET消費電力; 青



FETドレーン電圧; 緑
出力電流; 赤

入力周波数 2GHz



gaasfet amp...

Reading and checking circuit
Circuit read in and checked, no errors
Calculating bias point for Transient Analysis
Bias point calculated
Transient Analysis
Transient Analysis finished
Simulation complete

Time step = 5.160E-12 Time = 33.00E-09 End = 33.00E-...

Analysis Watch Devices

前期試験のお知らせ

前期試験； 8月5日(月) 2限(10:40-12:10)

場所 東4-201 (着席位置は当日指定)

以上、間違いのないようにしてください。