

# 絶縁体の熱雑音

物体の持つエネルギー  $kT$  と抵抗  $R$  から、熱雑音電圧  $E_t$  は下式で表現できます。

$$E_t = \sqrt{4kTR\Delta f}$$

ここで、 $k$ : ボルツマン定数、 $T$ : 絶対温度  
 $\Delta f$ : 抽出したいエネルギー帯域 　　です。

疑問: この式は、 $E_t$  が物体の抵抗  $R$  の平方根に比例することを示しています。もし、物体が絶縁体であるとする、抵抗  $R$  の値は無窮大となり、無窮大の雑音電圧  $E_t$  が発生していることになりませんが正しいのでしょうか？

回答: 物体の持つ  $kT$  のエネルギー(帯域  $\Delta f$ )と抵抗  $R$  から雑音電圧  $E_t$  は上式で表せ、物体が絶縁体の場合は無窮大の電圧雑音が発生していることと等価になります。これは式の上では間違いではありません。

しかし、この雑音は、次ページの等価回路で示すように無窮大の抵抗  $R_o$  を介して外部に出現することになりますので、観測側の入力抵抗  $R_{in}$  を考慮すると観測点での雑音電圧  $E_n$  はゼロとなり観測することができません。

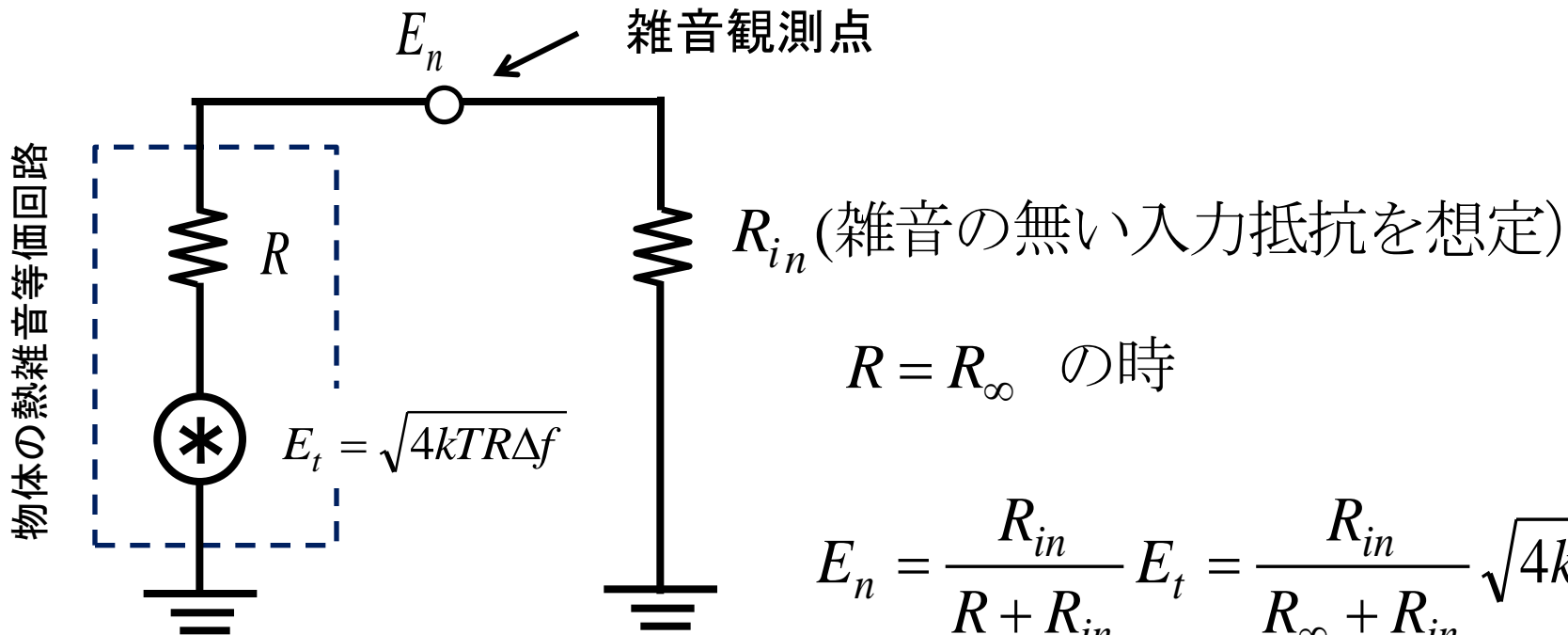
また、等価回路を雑音電流源  $I_t$  に変換した場合も、 $R$  が無窮大の時は、観測できる雑音電流  $I_n$  はゼロとなってしまう観測できません。(ノートンの定理)

絶縁体も  $kT$  のエネルギーを有しており、式の上で無窮大の雑音電圧が発生していると考えられますが、実際の観測側のインピーダンスを考えると、信号源の抵抗値が無窮大ですので雑音電圧  $E_n$ 、雑音電流  $I_n$  とも観測できないことになります。

雑音の出現の大きさは雑音源の抵抗値と観測側の抵抗値との相対関係に依存します。

# 熱雑音等価回路(電圧雑音源)

電圧雑音源で考えた場合

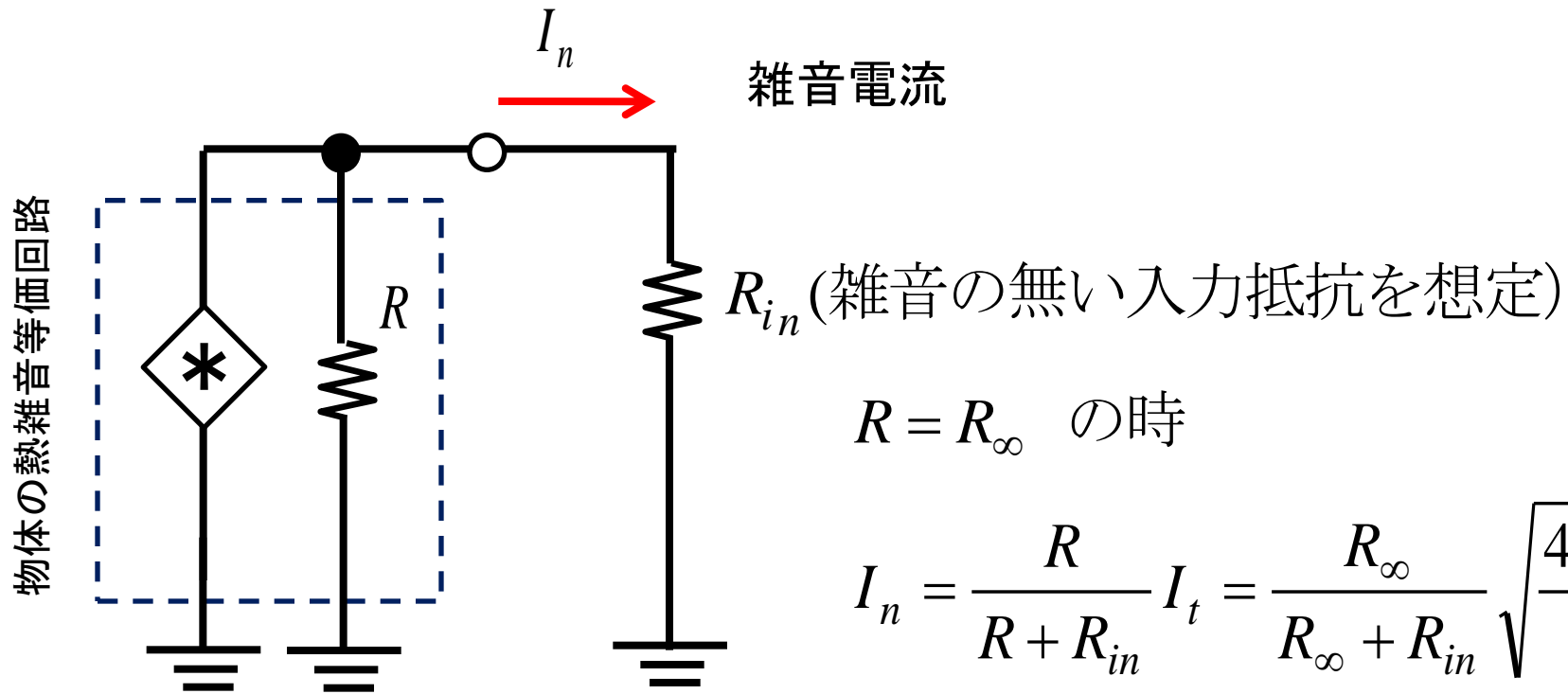


$R = R_\infty$  の時

$$E_n = \frac{R_{in}}{R + R_{in}} E_t = \frac{R_{in}}{R_\infty + R_{in}} \sqrt{4kTR_\infty \Delta f}$$
$$= \frac{R_{in}}{1 + \frac{R_{in}}{R_\infty}} \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R_\infty}} \approx 0$$

# 熱雑音等価回路(電流雑音源)

電流雑音源で考えた場合



$R = R_\infty$  の時

$$I_n = \frac{R}{R + R_{in}} I_t = \frac{R_\infty}{R_\infty + R_{in}} \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R_\infty}}$$

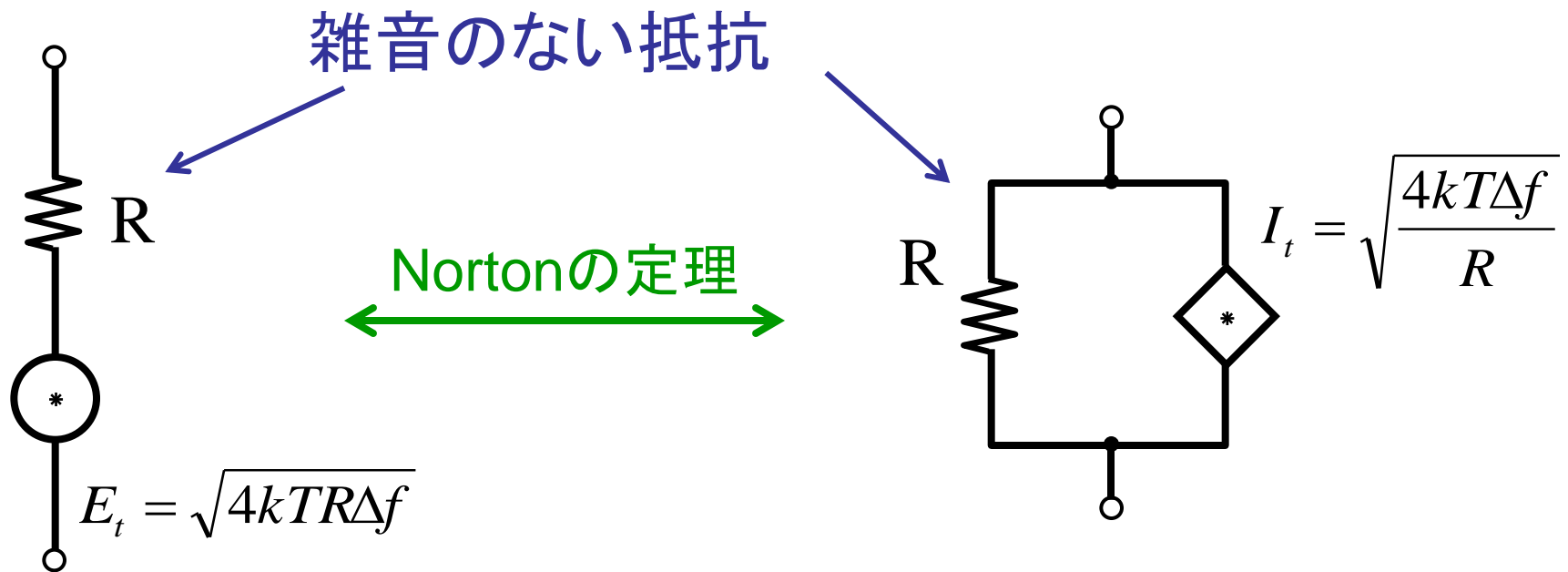
$$I_t = \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R}}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{R_{in}}{R_\infty}} \sqrt{\frac{4kT\Delta f}{R_\infty}} \approx 0$$

## 熱雑音等価回路

## 電子システムの雑音の解析

- 熱雑音を含む素子は、  
雑音を含まない抵抗と雑音電圧源を直列接続した等価回路、または、  
雑音電流源を並列接続した等価回路で置き換えられる。



(a) 電圧源によるモデル

(b) 電流源によるモデル

## 熱雑音の等価回路