

# 重要な予約変数・・・「e」「Pi」「time」

LTspiceでは、あらかじめ用意されている物理定数など、予約変数がある。「.PARAM（.MEASも含め）」を使うときに、ありそうなうっかり間違いは、電源の効率を求めようとして、出力電力をPO（Power-Outputのつもり）、入力電力をPI（Power-Inputのつもり）・・・とすると、このPIが（SPICEでは大文字小文字の区別がないので）予約変数「Pi」と解釈され、計算結果が期待通りにはならない・・・という例がある。

定数名	値／意味	対象	.PARAM	B-Source	Waveform Arithmetic
e	2.7182818284590452354 / 自然対数の底 (Napier の数)		—	—	●
Pi	3.14159265358979323846 / 円周率 (Ludolph の数)		●	●	●
K	1.3806503e - 23 / ボルツマン定数		▲ boltz	▲ boltz	●
Q	1.602176462e - 19 / 電子の電荷量		▲ echarge	▲ echarge	●
kelvin	-2.73150e + 02 / 絶対零度の摂氏温度 (°C)		●	●	—
planck	6.62620e - 34 / プランク定数		●	●	—
time	時間 (s)	実関数のデータのみ	—	●	●
freq	周波数 (Hz)	複素データのみ	—	—	●
w	角周波数 (rad./s)	複素データのみ	—	—	●
i	sqrt(-1)	虚数単位 (複素数表示のみ)	—	— (注※)	●

(注※) E-source で Laplace 式中では SQRT(-1) を使う。

これらの予約変数（定数）は、左の表に示すように、「.PARAM」、「B-source」、「波形表示の中の表示変数の演算」の全てに使えるわけではない。

定数「e（Napier数）」は、.PARAMや.MEASでは「e」としては使えないので「exp(1)」と表現すればよい。

「波形表示の中の表示変数の演算」ではボルツマン定数や、電子の電荷量は、それぞれKとQでできるが、これらを.PARAMや.MEASの中で使う場合はそれぞれ、「boltz」と「echarge」を用いる（詳細は後で示す）。

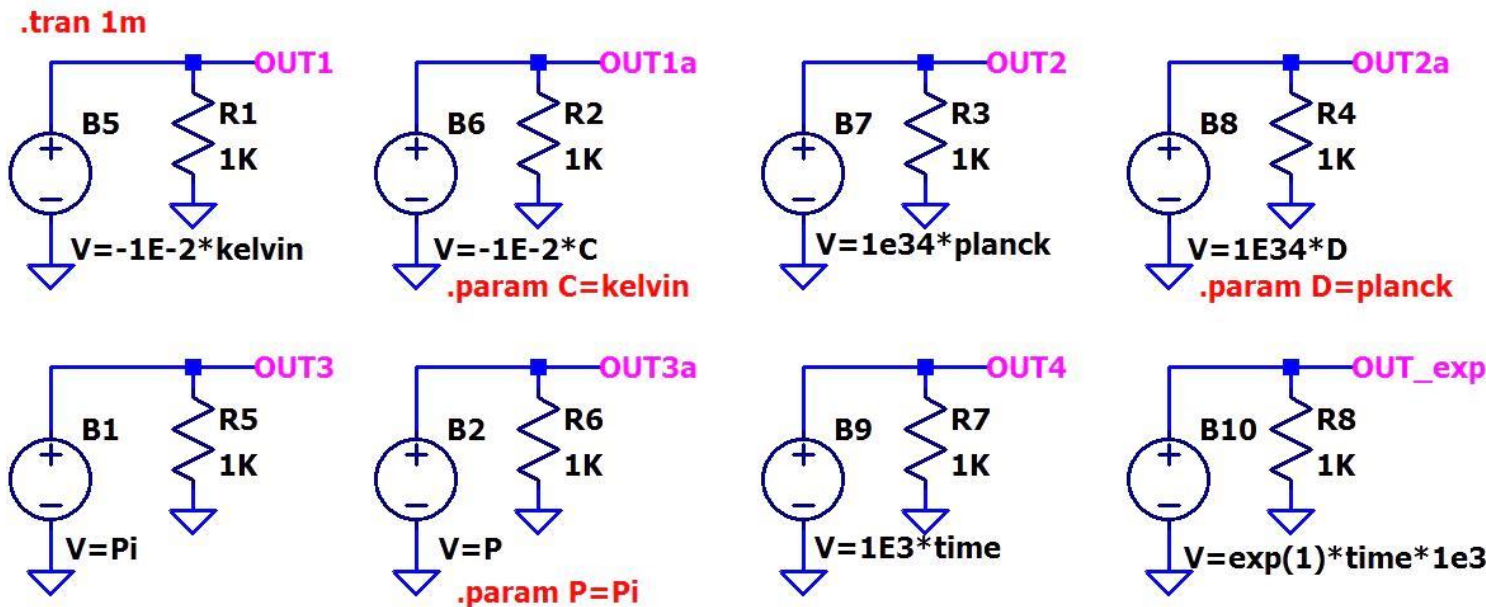
また、虚数単位「i」は「複素数表示をしている波形表示の中の表示変数の演算」にのみ使える。E-sourceを使ってLaplace式で表す場合の虚数単位はSQRT(-1)と書く。

これらの定数などを確認する回路と結果を次ページに示す。

表の引用：「回路シミュレータ LTspiceで学ぶ電子回路＜第3版＞」（2009年4月）オーム社刊より。

# 予約変数の確認

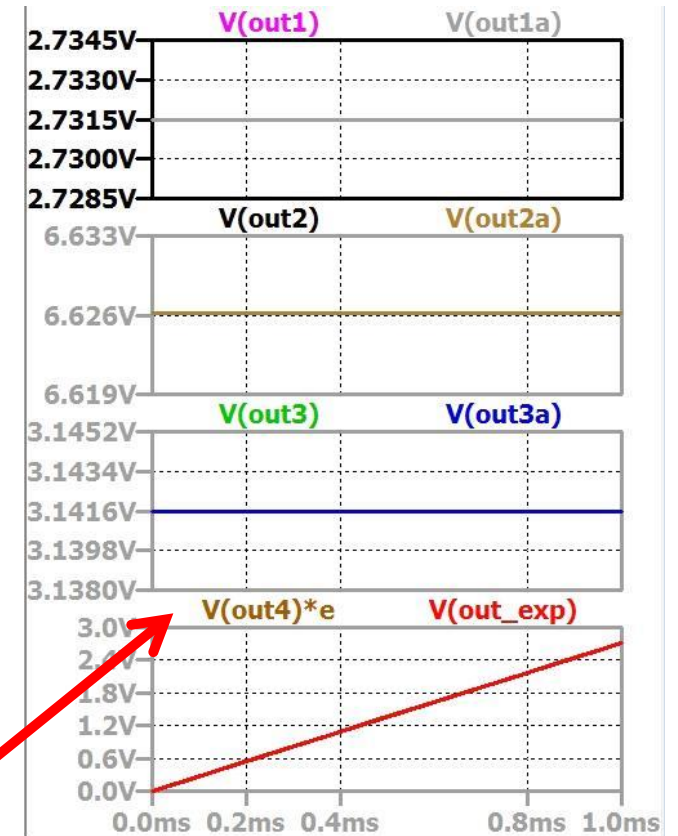
それぞれの定数は、各定数の桁の大きさに応じて10のべき乗を掛け1-10の範囲になるように調整した。  
また、電圧源をシミュレーションするとき、電圧源単体でもエラーにはならないが、回路が閉じていない（電圧源に電流が流れていない）と「warning」が「SPICE Error Log」に表示されるので、これを避けるために下に示す回路図では、抵抗負荷をつけてある。



**.options numdgt=15**  
**.options measdgt=22**  
**.meas PP param Pi-3.1415926535897**  
**.meas EE param exp(1)-2.71828182845**

pp:  $\text{pi} - 3.1415926535897 = 9.32587340685e-014$   
pp:  $\text{pi} - 3.1415926535897 = 9.32$  (少数以下16桁)まで合っている。  
ee:  $\exp(1) - 2.71828182845 = 9.0452$  (少数以下16桁)まで合っている。  
いずれも Engine-Solver : Normal / Alternate には依存しない。

電圧源はそれだけで出力電圧を生ずるが、電流が閉じていないので、シミュレーション的にはWarningとなる。



この場合に定数「e」が使える

どのグラフも、2本の線は重なっている

# 予約変数の値

前ページの回路図に「.meas」を使って「Pi」と「e」の値が有効数字がどこまであるのかを確かめてみた。  
すなわち、これ等の値の有効数字の上位の何桁かをそれぞれの値から引き算をして、残った部分の数値を確認してみた結果を下記に示す。

**pp: pi-3.1415926535897=9.32587340685e-014**

**pp: pi-3.1415926535897=9.32** （少数以下**16**桁）まで合っている。

**ee: exp(1)-2.71828182845=9.0452** （少数以下**16**桁）まで合っている。

**いずれも Engine-Solver : Normal / Alternate** には依存しない。

コメントの中にも書いたが、これ等の計算は、「Solver」の違い（Normal:通常の倍精度演算、Alternate:拡張倍精度演算）には依存していない。

また、

円周率（ルドルフ数） ..... =3.14159265358979323846264338 .....

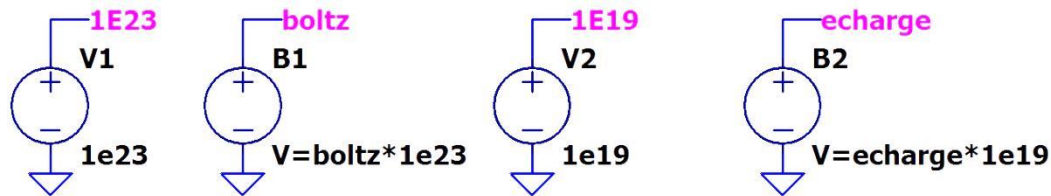
自然対数の底（ネイピア数） ..... =2.71828182845904523536028747 .....

と求められているので、いずれも小数点以下16桁（有効数字17桁）までがLTspice内の定数として正しいことがわかる。



# 素電荷とボルツマン定数の確認

素電荷とボルツマン定数は「.PARAM」、「B-source」、「波形表示の中の表示変数の演算」のいずれでも使えるが、波形表示ペインの定数の表記方法と、.PARAMとB-sourceに使う表記方法が異なっている。単に表記法（記号）の違いだけではなく、末尾の値（有効数字の小数点以下5桁目あたり）に違いがある。前ページのPiやeと同様に有効数字の上位桁を引き算してその違いを調べてみた。



```
.OPTIONS plotwinsize=0
.OPTIONS numdgt=15
.OPTIONS measdgt=10
.tran 1
```

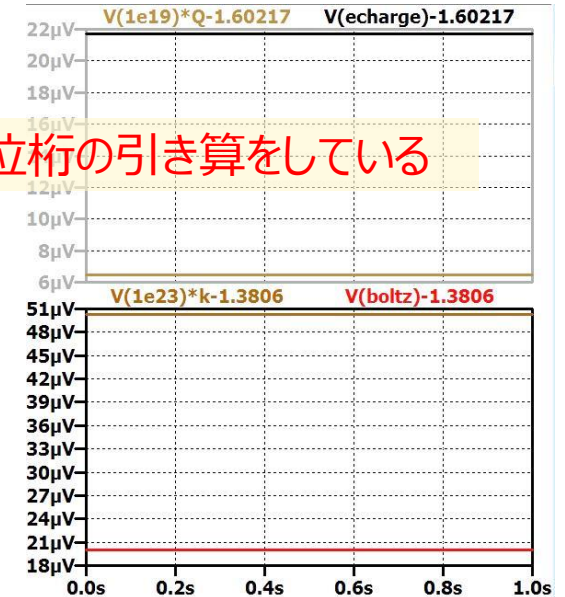
```
.meas V_echarge find V(echarge) at 0.5
.meas V_Q find V(1e19)*Q at 0.5
.meas V_boltz find V(boltz) at 0.5
.meas V_k find V(1e23)*k at 0.5
```

```
v_echarge: v(echarge)=1.6021917 at 0.5
v_q: v(1e19)*q =1.602176462 at 0.5
v_boltz: v(boltz) =1.38062 at 0.5
v_k: v(1e23)*k =1.3806503 at 0.5
```

Const Q and K are same as SI(2019)

グラフ表示上で上位桁の引き算をしている

どちらのグラフも2つの線がある



QとKの有効数字部分はこれ等の値が現在SIで採用されている定義された値である。  
echargeとboltzの値は、古いものである。

現在（2019年5月20日のSI単位の再定義により）、どちらの定数も「定義された定数（実験的に求めたものや他の定数からの誘導ではなく）」となっている。1972年版の理科年表によると、 $q=1.60219\text{e-}19[\text{C}]$ と $k=1.38062\text{e-}23[\text{JK}^{-1}]$ となっており、時代的にはUCバークレーでSPICE-1が発表された頃の値である。その後、これ等の値は何度かCIPM・BIPMにより調整がされているが、SPICEの歴史の中で放置されてきた可能性がある。というのも、これ等の数値が直接回路設計にかかわることなく、末尾の誤差程度だったということも、改訂されなかった理由と推測できる。ただ、LTspiceの中に、同じ物理定数に対し、記号を変えて2つの値が存在する理由については判然としない。グラフペインで使うQとKについては、LTspice的な構文で、回路図中の定数としては原作を残した・・・ということだろうか？

もし、回路図中で、これ等の値を現在の定義値で扱いたい場合には、「.PARAM・・・」で回路図中で再定義する必要がある。