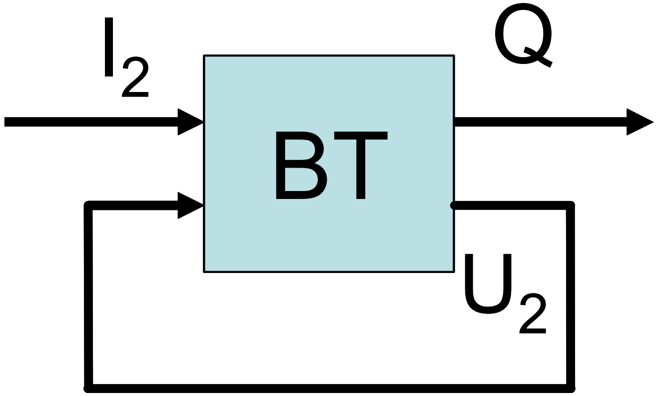
エネルギーシステム･要素論
第6回　電池4
燃料電池および
二次電池のモデル化

平成28年7月22日

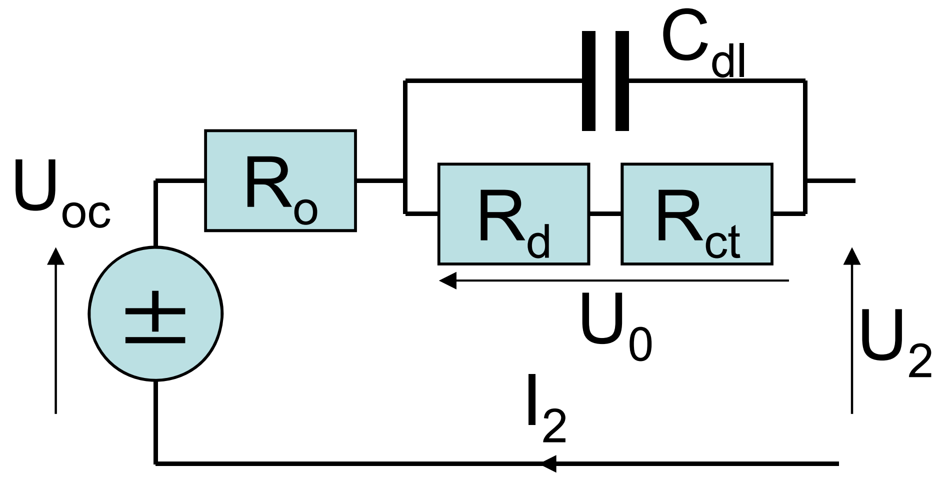
電池の動特性モデル



- 電池の過渡応答モデル
  - BT
- 入力変数
  - 端子電流$I_2(t)$
    - 正:放電
    - 負:充電
ブロック線図の矢印とは異なることに注意
- 出力変数
  - 電池の電荷量Q(t)
- 内部変数
  - 端子電圧$U_2(t)$

電池の動特性モデル①
Randles / Thevenin model 1

- 静特性モデルの発展版
  - 要素分離
    - U_{oc}:開回路電圧
    - U_o:非オーム性過電圧
    - R_o:オーム性電圧降下
    - U_o:過電圧・分極電圧 (非オーム性)
      - 電荷移動
      - 表面過電圧
      - 拡散過電圧
    - 電極・電解質間の電荷蓄積・分離
      - C_{dl}:二重層容量の充放電
    - 化学反応による電荷移動電流
      - R_d:拡散抵抗
      - R_{ct}:電荷移動抵抗



簡略化物理モデル

電池の動特性モデル①
Randles / Thevenin model 2

- 等価回路のKVL, KCL
  - 定常状態の内部抵抗
    $R_i = R_o + R_{ct} + R_d$
  - KVL $U_2(t) = U_{oc} - R_o I_2(t) - U_o(t)$
  - KCL

$$I_2(t) = C_{dl}\frac{dU_o(t)}{dt} + \frac{U_o(t)}{R_d + R_{ct}} \quad \Rightarrow \quad \frac{dU_o(t)}{dt} = \frac{1}{C_{dl}}\left\{I_2(t) - \frac{U_o(t)}{R_d + R_{ct}}\right\}$$

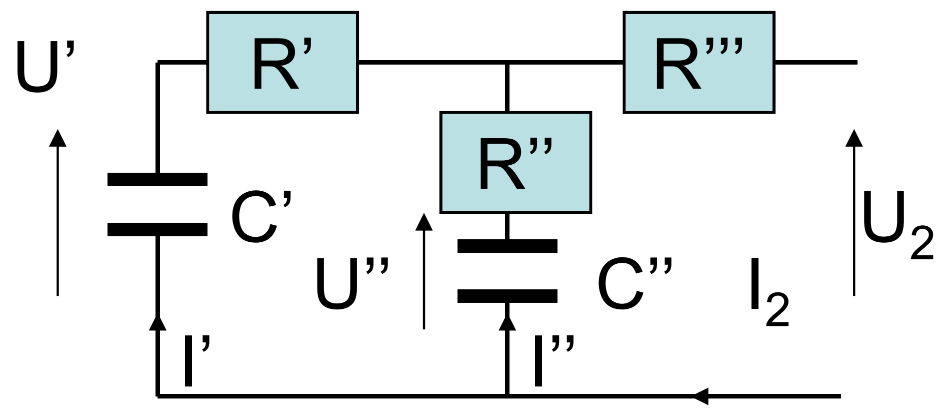
$$\frac{dQ(t)}{dt} = I_2(t)$$

電池の動特性モデル②
Johnson’s model (ビヘイビアモデル) 1

- 回路方程式
  - KVL $U'(t) - R'I'(t) = U''(t) - R''I''(t) = U_2(t) + R'''I_2(t)$
  - KCL $I_2(t) = I'(t) + I''(t)$
  - 微分方程式

$$C'\frac{dU'(t)}{dt} = -I'(t)$$

$$C''\frac{dU''(t)}{dt} = -I''(t)$$



電池の動特性モデル②
Johnson’s model (ビヘイビアモデル) 2

- Johnson’s model(ビヘイビアモデル)
  - I’, I’’を消す

$$I_2(t) = I'(t) + I''(t) = -C'\frac{dU'(t)}{dt} - C''\frac{dU''(t)}{dt}$$

$$U'(t) + R'C'\frac{dU'(t)}{dt} = U''(t) + R''C''\frac{dU''(t)}{dt}$$

$$U'(t) - U''(t) = -R'C'\frac{dU'(t)}{dt} + R''C''\frac{dU''(t)}{dt}$$

電池の動特性モデル②
Johnson’s model (ビヘイビアモデル) 3

- Johnson’s model(ビヘイビアモデル)
  - du’/dtを求める

$$R''I_2(t)+[U'(t)-U''(t)]=-R''C'\frac{dU'(t)}{dt}-R'C'\frac{dU'(t)}{dt}$$
$$=-\frac{dU'(t)}{dt}C'[R''+R']$$

$$\frac{dU'(t)}{dt}=\frac{-R''I_2(t)-[U'(t)-U''(t)]}{C'[R''+R']}$$

電池の動特性モデル②
Johnson’s model (ビヘイビアモデル) 4

- Johnson’s model(ビヘイビアモデル)
  - du’’/dtを求める

$$R'I_2(t)-\left[U'(t)-U''(t)\right]=-R'C''\frac{dU''(t)}{dt}-R''C''\frac{dU''(t)}{dt}$$

$$=-\frac{dU''(t)}{dt}C''\left[R'+R''\right]$$

$$\frac{dU''(t)}{dt}=\frac{-R'I_2(t)+\left[U'(t)-U''(t)\right]}{C''\left[R'+R''\right]}$$

電池の動特性モデル②
Johnson's model (ビヘイビアモデル) 5

- Johnson's model(ビヘイビアモデル)
  - U_2出力変数の状態変数表示

$$
\begin{aligned}
U_2(t) &= U''(t) - R''I''(t) - R'''I_2(t) \\
&= U''(t) - R''I''(t) - R'''\left[I'(t) + I''(t)\right] \\
&= U''(t) + R''C''\frac{dU''(t)}{dt} + R'''\left[C'\frac{dU'(t)}{dt} + C''\frac{dU''(t)}{dt}\right] \\
&= U''(t) + R'''C'\frac{dU'(t)}{dt} + \left[R'' + R'''\right]C''\frac{dU''(t)}{dt}
\end{aligned}
$$

電池の動特性モデル②
Johnson’s model (ビヘイビアモデル) 6

- Johnson’s model(ビヘイビアモデル)
  - つづき

$$
\begin{aligned}
U_2(t) &= U''(t) + R'''C' \frac{-R''I_2(t) - [U'(t) - U''(t)]}{C'[R'' + R']} \\
&\quad + [R'' + R''']C'' \frac{-R'I_2(t) + [U'(t) - U''(t)]}{C''[R' + R'']} \\
&= U''(t) + R''' \frac{-R''I_2(t) - [U'(t) - U''(t)]}{[R'' + R']} \\
&\quad + [R'' + R'''] \frac{-R'I_2(t) + [U'(t) - U''(t)]}{[R' + R'']}
\end{aligned}
$$

電池の動特性モデル②

Johnson's model (ビヘイビアモデル) 7

- Johnson's model(ビヘイビアモデル)

$$
\begin{aligned}
U_2(t) &= U''(t) + \frac{-R'''R'' - R'\left[R'' + R'''\right]}{R'' + R'} I_2(t) \\
&\quad + \frac{-R''' + R'' + R'''}{R' + R''} U'(t) + \frac{R''' - \left[R'' + R'''\right]}{R'' + R'} U''(t) \\
&= \frac{-R'''\left[R'' + R'\right] - R'R''}{R'' + R'} I_2(t) + \frac{R''}{R' + R''} U'(t) + \frac{R'}{R'' + R'} U''(t) \\
&= -\left[R''' + \frac{R'R''}{R'' + R'}\right] I_2(t) + \frac{R''}{R' + R''} U'(t) + \frac{R'}{R'' + R'} U''(t)
\end{aligned}
$$

U_2の状態変数表示。U',U''は微分方程式の解, I_2は入力変数