18a-D4-12

ジョセフソン弱結合を用いた超伝導電力貯蔵素子の過渡解析

Transient Analysis of Superconducting Energy Storage Device by use of Josephson Weak-Link

拓殖大学工学部　宮原弘明、吉森　茂

Faculty of Engineering,　Takushoku　University　Hiroaki Miyahara,　Shigeru Yoshimori

E-mail: y2m309@st.takushoku-u.ac.jp

1.　はじめに

近年、超伝導送電や超伝導電力貯蔵の実用化に関心が集まっている。本研究では、小型超伝導電力貯蔵装置に利用できるジョセフソン弱結合素子を用いた電力貯蔵素子の過渡解析を行った。この単一素子は超伝導コイルとジョセフソン弱結合が直列に接続された構造をしており、複数の素子を並列に接続することによって、小型の電力貯蔵装置として利用できる。一方、電力が貯蔵される間の過渡状態の解析は、この素子の実現にとって重要である。

2.　解析方法

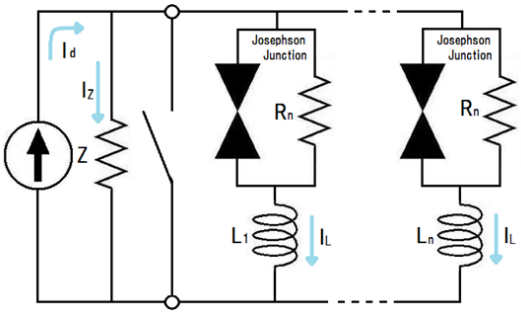

Fig.1　　ＲＳＪモデルを適用した等価回路

Fig.1 の回路において、簡単のために各貯蔵素子が同形状であり、通電電流も同様と仮定する。コイルに流れる電流をI_L，ジョセフソン弱結合の臨界電流をI_c，電流源に並列接続された抵抗を Z，RSJ モデルの抵抗値をR_n，電力貯蔵素子の個数を N, ジョセフソン弱結合の両端のオーダパラメータの位相差をφ, プランク定数を ħ，電子電荷の絶対値を e とすると、

$$I_d = I_Z + I_L = \frac{V}{Z} + I_L = \frac{\hbar N}{2eZ}\frac{d\Phi}{dt} + \frac{NL}{Z}I_L + I_L \qquad (1)$$

となり、式(1)から以下の式が導ける。

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\theta} = \left(\frac{2e}{\hbar\omega}\right)\left(\frac{ZR_n}{NR_n+Z+LN}\right)\left\{I_d - \left(\frac{Z+NL}{Z}\right)I_c\sin\varphi\right\} \qquad (2)$$

各素子を流れる電流が臨界電流I_c=I_Lとなった時点で回路のスイッチを閉じ,その時の電流をI_Eとすると，次式が成り立つ。

$$\frac{\partial\varphi}{\partial\theta} = \frac{2eR_n}{\hbar\omega}(I_E - I_C\sin\Phi) \qquad (3)$$

なお、コイルのインダクタンスを 1[mH]，結合係数 k を 1 と仮定すると、コイルに貯蔵されるエネルギーは,

$$E = \frac{N}{2}LI_L^2 + {}_NC_2MI_L^2[J] \qquad (4)$$

となる。ここで M は相互インダクタンスである。４次のルンゲ・クッタ法を用いて式(2),(3)の常微分方程式を解き、過渡解析を行った。

3.　解析結果の例

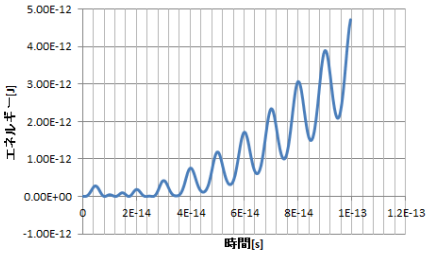

Fig.2　素子数 3，抵抗 100Ω の場合

N=3、Z＝100Ω の場合の解析結果を Fig.2 に示す。約 100[THz]の周波数で振動しながら電力が貯蔵されることが分かった。

© 2014 年　応用物理学会