

# 非線形 函數群 特性의 3端子素子를 包含하는 回路網의 電算解析技法

26-1-1

## Computer Analysis Technique of the Network having 3-terminal Element Characterized by Nonlinear Function Group

高明 三\* 李錫漢\*\*  
(Myoung Sam Ko, Suk Han Lee)

### Abstract

This paper deals with computer analysis technique of the network having 3-terminal elements whose input and output characteristics are defined by nonuniform spacing function group on the volt-ampere space. Developing the algorithms to obtain the solutions of the network mentioned above by computer, we propose optimization technique, which can solve the normal form equations of the network defined in this paper and which involves mode analysis technique to be able to analyze the case that the function group has negative resistance characteristics.

### 1. 緒 論

各種 特性의 3端子素子들이 개발되고 응용됨에 따라 이들을 포함하는 回路網의 解析技法이 必要하게 된다. 3端子素子의 入力 및 出力特性은 電壓-電流 空間에서 入力 또는 出力變數 또는 外部變數를 parameter로 하는 非線形 函數群으로 주어지는 것이 一般의이다. 이때 만일 이 函數群이 어떤 領域內에서 parameter에 따라 均等分布하는 경우에는 그 領域內에서 線形等價 model化 함으로써 解析이 용이하게 되는데, 이는 transistor 小信, 解析을 위시한 여러가지 3端子素子의 小信號解析에 利用되고 있다. 그러나 函數群이 parameter에 따라 不均等 分布하는 一般의인 非線形 函數群인 경우 이를 취급하는 적절한 解析技法이 存在하고 있지 않다. L.O. chua의 圖式的 接近技法은 不便할 뿐 아니라 動的素子를 包含하는 回路의 過渡現象解析에 부적당하고 部分線形化技法은 特性이 parameter에 따른 函數群으로 주어지는 경우 적용하기 不便하다 [1][2]. 이러한 非線形 函數群을 취급하기 위하여는 computer를 利用하는 數值解析의 方法이 有用할 것으로 판단되는데 現在 computer를 利用하는 여러가지 回路解析方法들이 개발되어 있으나 各各 回路topology

및 素子特性에 대하여 制限을 가짐으로써 一般의 非線形 函數群特性의 素子를 包含하는 回路解析을 취급하고 있지 않거나와 適用하기도 곤란하다[3],[4]. 따라서 本 論文에서는 이러한 素子를 包含하는 回路網을 computer를 利用하는 數值解析의 方法으로 解析하기 위하여 必要한 algorithm을 수립하고 이것을 computer program化하여 實제의 회로에 적용하여 結果를 얻고자 한다.

### 2. 用語 및 記號

〈NSN3T素子〉 NSN3T素子란 電壓-電流 空間에서 的 入力 또는 出力特性이 非線形 函數群으로 주어지며 이들 函數群이 parameter의 값에 따라 電壓-電流 空間에서 不均等分布하는 경우의 素子를 의미한다. NSN3T素子의 추상model 및 그 入出力 特性의 例를 그림 1과 그림 2에 圖示한다.

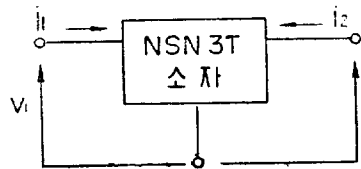


그림 1. NSN 3T소자의 추상모형

Fig. 1. The abstract model of NSN3T circuit element

\* 正會員 : 서울大 工大 電氣工學科副教授(工博)

\*\* " : 弘益大 工大 電子工學科專任講師

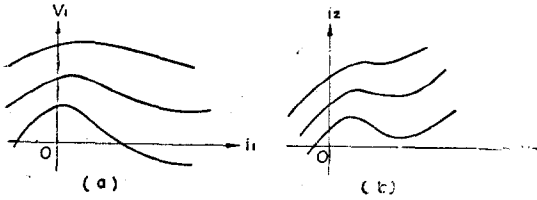


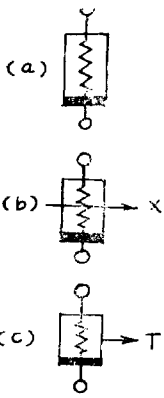
그림 2. 입력 출력 특성의 예  
 Fig. 2. An example of input and output characteristics

<전압제어특성 및 전류제어특성>

電流-電壓空間에서 定義된 特性이 電壓에 대하여 單價函數이고 電流에 대하여 多價函數일때 이를 電壓制御特性이라 부르고 電流에 대하여 單價函數이고 電壓에 대하여 多價函數일때 이를 電流制御特性이라 부른다. 그림 2에서 (a)는 電流制御特性을 나타내며 (b)는 電壓制御特性을 나타낸다.

<記號>

그림 3에서 (a)는 非線形 抵抗性素子를 表示하며 (b)



는 非線形 抵抗性素子로서 回路變數 X를 parameter로 하는 特性을 갖는 素子를 表示한다. 外部變數(예를 들어 주위온도 또는 조도같은 것 을 의미함) T를 parameter로 하는 特性을 갖는 素子の 表示는 (c)에 圖示하였다.

한편 制御特性을 갖는 素子에 對해서는 電流제어특성인 경우는 해당전류변수 위에  $\hat{i}$ 와 같이  $\wedge$ 기호를 붙이고 電壓제어變數인 경우는 해당 電壓變數위에  $\hat{v}$ 와 같이  $\wedge$ 記號를 붙여서 表示하기로 한다.

그림 3. 비선형소자의 표시

Fig. 3. Nonlinear element representation

3. Computer解析을 위한 algorithm의 수립

(1) NSN3T素子の 等價model

그림 4는 NSN3T素子를 等價model로서 表示한 것이며 parameter를 각기 화살표의 끝부분에 表示하였다.

(2) 정규형 方程式의 수립

NSN3T素子를 包含하는 回路網의 正規形 方程式을 수립하기 위하여 素子를 그림 4와 같은 等價model로 치환한 후 회로망의 capacitor의 電荷q 및 inductor의

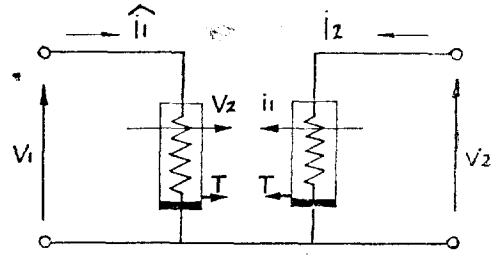


그림 4. NSN3T素子の 等價model

Fig. 4. The equivalent model of NSN3T circuit element

자속쇄고수  $\lambda$ 를 狀態變數로 하는 狀態方程式을 먼저 수립한다. 狀態方程式을 수립하는 課程은 一般의인 경우와 同一하다[2]. 그러나 NSN3T素子の 入出力特性으로 인하여 入出力變數들을 狀態변수로서 적절하게 表現할 수 없기 때문에 狀態方程式은 NSN3T素子の 入力 또는 出力變數들이 包含된다. 즉 다음과 같이 수식으로 표현된다.

$$q(t) = G_C(q(t), \lambda(t), i_s(t), e_s(t), f_i(t), f_o(t)) \dots (1)$$

$$\lambda(t) = G_L(q(t), \lambda(t), i_s(t), e_s(t), f_i(t), f_o(t))$$

여기서  $q(t)$ : capacitor 전하 vector

$\lambda(t)$ : inductor 자속 vector

$i_s(t), e_s(t)$ : 독립전압원 vector 및 독립전류원 vector

$f_i(t), f_o(t)$ : NSN3T素子の 入力 및 出力變數

이제  $t = kT$ 에서의  $q(t)$  및  $\lambda(t)$ 의 값을 각각  $q(k)$  및  $\lambda(k)$ 라 하고 T를 미소시간 영역으로 잡으면 다음과 같은 이산상태방정식을 얻는다.

$$q(k+1) = q(k) + G_C(q(k), \lambda(k), i_s(k), e_s(k), f_o(k), f_o(k)) \cdot T \dots (2)$$

$$\lambda(k+1) = \lambda(k) + G_L(q(k), \lambda(k), i_s(k), e_s(k), f_i(k), f_o(k)) \cdot T$$

식(2)에서 보던 임의의 시작  $kT$ 의 狀態에서 시간 T 경과후의 狀態를 얻기 위하여는 임의의 시작  $kT$ 에서의 狀態 및 入力值(독립전원의 값들)에 관한 정보뿐만 아니라 임의의 시작  $kT$ 에서 NSN3T素子の 入力 및 出力變數들의 값에 관한 정보를 알아야만 함을 알 수 있다. 따라서 임의의 시작  $kT$ 에서 주어진 狀態 및 독립전원의 값을 가지고 NSN3T素子の 入力 및 出力變數의 값을 구하는 다음과 같은 回路方程式이 보조방정식이므로서 必要하게 된다.

$$F(q(k), \lambda(k), i_s(k), e_s(k), f_i(k), f_o(k)) = 0 \dots (3)$$

이산상태방정식 (2) 및 회로방정식 (3)을 합하여 NSN3T素子를 包含하는 回路의 正規形 方程式이라 정

의한다.

**事實 1.** 正規形 方程式이  $k$ 의 모든 값에 對하여 유한확정된 유일해를 갖기 위한 필요충분조건은 回路方程式 (3)이  $k$ 의 모든 값에 대하여 유한확정된 유일해를 갖는 것이다.

**事實 2.** 回路方程式 (3)이  $k$ 의 모든 값에 對하여 유한확정된 유일해를 갖기 위한 충분조건은 NSN3T素子の 入力 및 出力特性이 준선형함수\*군인 것이다. (\*참조[2])

위의 事實로 부터 먼저 NSN3T素子の 入力 및 出力特性이 준선형함수군인 경우만을 고찰하고 나중에 一般의인 경우로 확장하도록 한다.

**例 1** 그림 5는 NSN3T素子를 포함하는 간단한 회로이며 그림 6은 그림5를 等價model로 치환한 그림이다. 그림 6으로부터 정규형 방정식은 다음과 같이 구해진다.

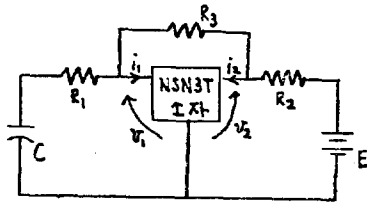


그림 5. 例 1을 위한 회로도  
Fig. 5. Circuit diagram for example 1

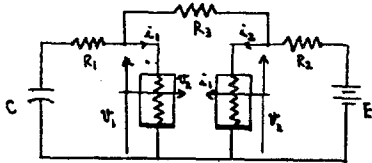


그림 6. 그림 5의 등가 model  
Fig. 6. The equivalent model of Fig. 5

$$\begin{aligned}
 q(k+1) &= \left(1 - \frac{T}{R_1 C}\right) q(k) + \frac{T}{R_1} v_1(k) \dots\dots\dots(4) \\
 -\frac{1}{R_1 C} q(k) + \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3}\right) v_1(k) + i_1(k) - \frac{1}{R_3} v_2(k) &= 0 \\
 -\frac{1}{R_3} v_1(k) + i_2(k) + \left(\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) v_2(k) - \frac{E}{R_2} &= 0 \\
 \dots\dots\dots(5)
 \end{aligned}$$

식(4)는 이산狀態方程式이며 式(5)는 回路方程式을 각기 나타낸다.

(3) 正規形 方程式의 解를 求하는 algorithm—最適

化技法

正規形 方程式으로부터 回路變數의 解를 求하기 위하여는 임의의 시각  $k$ 에서 回路方程式을 풀어 NSN3T素子の 入力 및 出力變數의 값을 求할 수 있어야 한다. 이를 爲하여는 NSN3T素子の 入力 및 出力特性과 回路方程式을 함께 고려해야 되는데, NSN3T素子の 入力 및 出力特性이 非線形 函數群으로 주어지기 때문에 이를 computer로 처리하여 그 解를 求하는 algorithm을 개발해야 한다.

**a.** NSN3T素子の 入力 및 出力特性을 數式으로 表現할 수 있는 경우. 이 경우는 回路方程式과 入力 및 出力特性式을 包含하는 일련의 비선형 연립방정식을 푸는 문제에 귀착된다.

**b.** NSN3T素子の 入力 및 出力特性을 數式으로 表現할 수 없는 경우. 이 경우가 취급해야 할 보다 一般의인 경우에 해당되는데 回路方程式과 NSN3T素子の 入力 및 出力特性 함수군으로부터 素子の 變數值를 求하기가 용이하지 않다. 이것을 解決하는 方法으로 NSN3T素子の 入力 또는 出力變數 中의 一部를  $t=k$ 에서 解를 임의로 가정함으로써 回路方程式 단독으로 解를 求하도록 한 후(이렇게 가정된 變數를 가정변수라고 부르기로 한다) 求해진 NSN3T素子の 入力 및 出力變數의 값을 그 入力 및 出力特性 函數群에 다시 적용해 봄으로써 가정치의 적합여부를 판별하게 하고 적합하지 않은 경우 가정치를 다시 수정하여 적용하여 평가기준에 맞는 最適의 값을 얻었을 때, 그 값을 NSN3T素子の 各 變數의 解로써 간주하는 것이다. 이상의 과정을 다음 algorithm으로 정리한다.

**Algorithm 1.** 回路方程式의 解를 求하는 法.

**Step 1.** NSN3T素子の 入力 및 出力變數 中에서 가정변수를 선택하고 그 값을 임의로 가정한다.

**Step 2.** 回路方程式에 가정변수의 가정치와 回路狀態를 代入하여 남은 NSN3T素子の 入力 및 出力變數를 산정한다.

**Step 3.** Step 2에서 求한 NSN3T素子の 入力 및 出力變數의 값을 가지고 NSN3T素子の 入力 및 出力特性 函數群으로부터 逆으로 가정변수의 값을 구한다.

**Step 4.** 가정變數의 가정치와 Step 3에서 求한 가정變數의 값을 비교하는 평가函數에 의하여 가정치의 적합여부를 판정한다.

**Step 5.** 가정치가 적합하다고 판정되면 그 값을 NSN3T素子の 入力 및 出力變數의 값으로 확정하고 부적합한 경우는 가정치를 적절히 수정하여 다시 Step 2부터 되풀이 한다.

위의 algorithm을 computer로 수행하기 위하여는

非線形 函數群에서 變數值를 결정하는 Step 3의 과정과 가정치를 수정해 나가는 Step 5의 과정에 대한 적절한 처리가 필요한데, 이는 다음 절에서 취급될 것이다.

**事實 3.** 가정변수의 선택은 回路方程式을 풀 수 있는 最小限의 變數로 한다.

**事實 4.** Step 2의 過程에서 NSN3T素子の 모든 變數를 求할 수 없는 경우가 있는데, 이때 구할 수 없는 변수는 NSN3T素子の 入力 및 出力特性 函數群을 利用하여 求한다.

〈例 2〉〈例 1〉과 같이 주어진 回路에서 NSN3T素子の 入力 및 出力特性이 그림 7 및 그림 8로 각기 주어진 경우 algorithm 1이 적용되는 과정을 圖式的으로 說明해 보코자 한다.

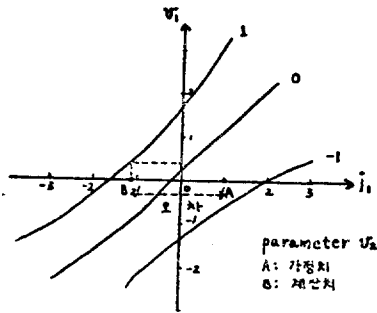


그림 7. 入力특성함수  
Fig. 7. Input characteristic function

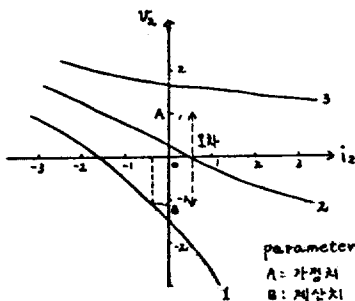


그림 8. 出力특성함수  
Fig. 8. Output characteristic function

**Step 1.** 回路方程式(5)를 고찰하고 가정변수로서  $i_1$ 과  $v_2$ 를 선택한다.

**Step 2.**  $i_1(k)=1[A]$ ,  $v_2(k)=1[V]$ 로 가정하고 回路狀態  $q(k)=1[C]$ 을 回路方程式(5)에 代入하여  $i_2(k)=$

$-\frac{1}{3}[A]$ ,  $v_1(k)=\frac{1}{3}[V]$ 를 얻는다. (단  $R_1=R_2=1[\Omega]$ ,  $R_3=2[\Omega]$ ,  $C=[F]$ ,  $E=1[V]$ )

**Step 3.** 이 과정은 computer로 수행되어 지는 것이나 여기서는 圖式的으로 설명한다. 그림 7 및 그림 8로부터  $i_1(k)=-1.1[A]$ ,  $v_2(k)=-1.1[V]$ 를 얻었다.

Step 4 및 Step 5. 평가함수로서 오차의 절대치를 잡으면 가정변수  $i_1$ 의 평가함수치는 2.2가 되고  $v_2$ 의 평가함수치는 2.2가 된다. 평가기준으로서 평가함수치가 0.01보다 작은 경우를 合格으로 한다면 위의 가정치는 불합격이 되어 새로운 가정치를 택하여야 하는데 이 새로운 가정치를 선택하는 방법은 뒷 절에서 설명된다.

(4) NSN3T素子の 入力 및 出力特性函數群의 computer simulation

Algorithm 1의 step 3을 수행하기 위하여는 NSN3T素子の 入力 및 出力特性函數群이 computer로 simulation되어야 한다. 不均等 data分布에 對한 Lagrange 보간법을 利用하기 위하여 NSN3T素子の  $\gamma$  및 出力特性函數群의 값을 그림 9에서와 같이 sample 하여 表 1을 만든다.

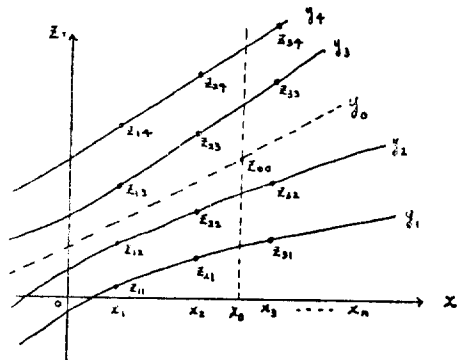


그림 9. 비선형함수군의 샘플링  
Fig. 9. The sampling of nonlinear function group

表 1.  $z=f(x,y)$ 의 值列  
Table 1. The tabulation of the function  $z=f(x,y)$

$x_1$	$y_1$	$z_{11}$
	$y_2$	$z_{12}$
	$\vdots$	$\vdots$
	$y_n$	$z_{1n}$
$x_2$	$y_1$	$z_{21}$
	$\vdots$	$\vdots$
	$y_n$	$z_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
$x_n$	$y_1$	$z_{n1}$
	$\vdots$	$\vdots$
	$y_n$	$z_{nn}$

parameter  $y=y_0$ 에 관한  $x-z$ 평면상의 곡선  $z_0=f(x, y_0)$ 는 data點  $(x_1, z_{10}), (x_2, z_{20}), \dots, (x_n, z_{n0}), (x_{n+1}, z_{(n+1)0})$ 를 지나는 곡선이며 Lagrange 다항식에 의하여 表現하면 다음과 같다.

$$z_0 = f(x, y_0) = \sum_{k=1}^{n+1} \left[ \prod_{i=1, i \neq k}^{n+1} \left( \frac{x-x_i}{x_k-x_i} \right) \right] z_{k0} \dots (6)$$

한편  $z_{k0}$ 는  $x=x_k$ 인 경우에 있어서의  $n+1$ 개의 data點  $(y_1, z_{k1}), \dots, (y_{j+1}, z_{k(j+1)})$ 에 의하여 決定될 수 있으므로, 다시 Lagrange의 보간법을 적용하면

$$z_{k0} = \sum_{j=1}^{j+1} \left[ \prod_{m=1, m \neq j}^{j+1} \left( \frac{y_0-y_m}{y_l-y_m} \right) \right] z_{k,j} \dots (7)$$

과 같이 된다. 식(7)을 식(6)에 代入하여 정리하면 임의의  $x_0, y_0$ 에 대한  $z$ 의 값  $z_0$ 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$z_{00} = f(x_0, y_0) = \sum_{k=1}^{n+1} \left[ \prod_{i=1, i \neq k}^{n+1} \left( \frac{x_0-x_i}{x_k-x_i} \right) \right] \left[ \sum_{j=1}^{j+1} \left\{ \prod_{m=1, m \neq j}^{j+1} \left( \frac{y_0-y_m}{y_l-y_m} \right) \right\} z_{k,j} \right] \dots (8)$$

(5) 가정변수의 가정치를 수정하기 위한 技法

가정변수의 가정치를 수정하는 方法에는 여러가지 gradient法이 있으나, 여기서는 실제 응용하는 과정에서 conjugate gradient法을 사용하였다[5].

conjugate gradient法에 관한 자세한 사항은 참고 문헌을 참조하기 바란다.

(6) Mode 技法

NSN3T素子의 入力 및 出力特性이 準線形 函數群으로 주어지지 않는 一般의인 경우를 취급하기 위하여 다음과 같은 mode技法을 생각해 본다. 우선 一般의인 非線形 函數群을 각각의 parameter에 따라 준선형함수의 部分으로 분할하고 各各의 部分을 mode number로서 그림 10과 같이 表示한다.

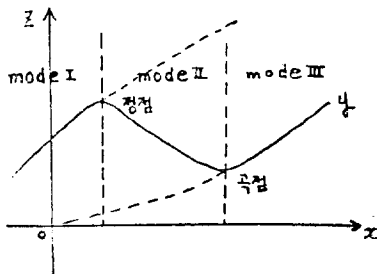


그림 10. 모오드분할

Fig. 10. Mode sectioning

임의의 mode  $k$ 는 제한된 領域을 가지므로 모든 領域에서 준선형함수가 되도록 mode  $k$ 를 확장하여 확장

된 mode  $k$ 의 함수를 만들면 확장된 mode  $k$  함수를 통하여 回路方程式의 解가 구해질 수 있다. 求해진 解가 mode  $k$ 의 領域内に 存在하는지 여부를 判別하여 mode  $k$ 의 領域内に 존재하면 그 解를 채택하고 存在하지 않으면 새로운 mode로 이동시켜 해를 求하도록 한다. mode技法을 爲한 algorithm은 아래와 같다.

Algorithm 2. mode 解析

Step 1. 확장된 mode  $k$  函數群에 對하여 algorithm 1의 step 2로부터 step 5까지의 과정을 수행한다.

Step 2. Step 1에서 求한 解가 mode  $k$ 의 領域内に 存在하는 가를 判別하여 領域内に 存在하면 그 解를 取하고 存在하지 않으면 새로운 mode로 이동한다.

(7) Computer 解析을 爲한 algorithm의 flow chart

그림 11은 NSN3T素子를 포함하는 회로망을 解析하기 위하여 지금까지 언급한 algorithm들을 종합하여 flow chart로 표시한 것이다.

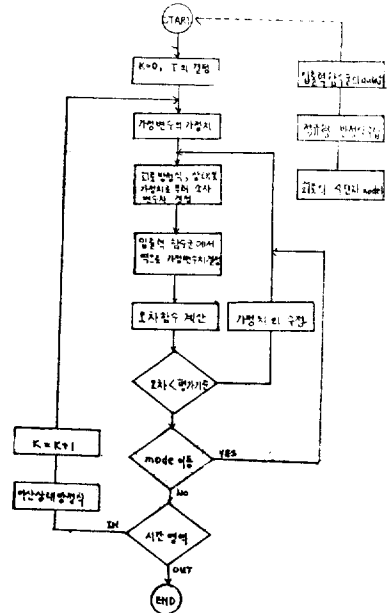


그림 11. 電算機 해석을 위한 흐름선도

Fig. 11. The flow chart for computer analysis

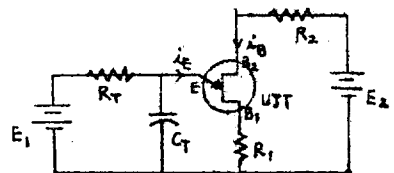


그림 12. UJT이완발진 회로도

Fig. 12. Circuit diagram of UJT relaxation oscillator

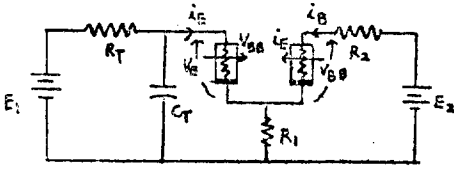


그림 13. 그림 12의 등가모델

Fig. 13. The equivalent model of Fig. 12.

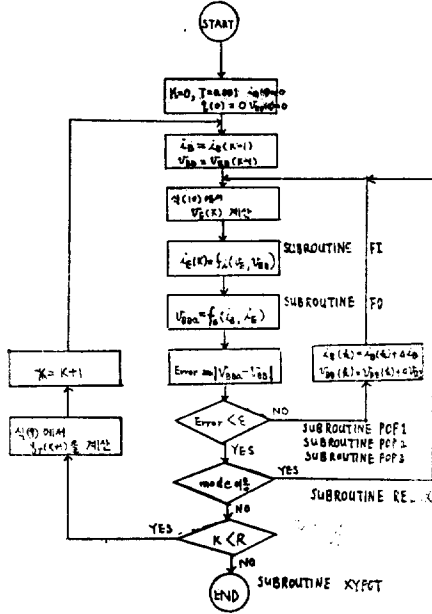


그림 14. UJT회로의 전산기해석 흐름선도

Fig. 14. The flow chart for computer analysis of UJT relaxation oscillator

4. 실제 회로에의適用

NSN3T素子の 特性을 입의로 가정하여 회로를 취급 할 수도 있겠으나 여기서는 NSN3T素子로서 UJT를 취급하고<sup>6)</sup> UJT이완 발진회로에 3절에서 도출된 algorithm을 적용하여 結果를 얻어 보았다. 그림 12는 UJT이완발진회로도이며 그림13은 그 等價model로서 正規形 方程式은 식(9) 및 식(10)과 같이 된다.

$$q_T(k+1) = \left(1 - \frac{T}{R_T C_T}\right) q_T(k) - i_B(k) \cdot T + \frac{E_1 T}{R_T} \dots \dots \dots (9)$$

$$-\frac{1}{C_T} q_T(k) + v_B(k) - R_2 i_B(k) - v_{BB}(k) + E_2 = 0 \dots (10)$$

computer에 依하여 解를 얻는 과정을 flow chart 로 表示하면 그림 14와 같다.

그림 14를 program化할 경우 다음과 같은 Subroutine program이 들어간다.

(1) 入力特性函數  $v_E = f_i(i_B, v_{BB})$ 의 계산을 위한 subroutine SUBROUTINE FI(BVE, BV, BIE, KA, L)

(2) 出力特性函數  $i_B = f_o(v_{BB}, i_E)$ 의 계산을 爲한 Subroutine SUBROUTINE FO(EA, EIE, EB, ER)

(3) 가정치를 수정하기 위한 conjugate gradient方法을 수행하는 Subroutine SUBROUTINE POP 1 (VBB, AIE, AIB, VOI, CHECK, ROUT1)

SUBROUTINE POP 2(LA, NN, EVPP, EIB, VBB, AIB, VTA, VO1A, VEA, AIEA, CHECK, GA1, GA2, SA1, SA2, RIN, ROUT2, ERR, KA, L)

SUBROUTINE POP3(LA, NN, EVBB, EIB,

表 2. Computer 입력 data

Table 2. Computer input data

F1	E2	R1	R2	RT	CT	CTP	DVARH	DT	EPHUR	ALPHA
0.200E+02	0.200E+02	0.200E+02	0.100E+03	0.100E+05	0.200E+06	0.500E+03	0.200E+00	0.000E+00	0.500E+01	0.200E+01
RIN(I, J)=INPUT CHARACTERISTIC FUNCTION VE=FILE(VPH)										
0.600000E+01	0.600000E+00	0.400000E+01	0.140000E+01	0.140000E+01	0.140000E+01	0.140000E+01				
0.600000E+01	0.600000E+00	0.150000E+05	0.330000E+02	0.500000E+01						
0.100000E+02	0.400000E+00	0.470000E+01	0.150000E+01	0.430000E+01						
0.100000E+02	0.700000E+00	0.100000E+05	0.420000E+02	0.500000E+01						
0.150000E+02	0.800000E+00	0.150000E+02	0.150000E+01	0.365000E+01						
0.150000E+02	0.450000E+00	0.600000E+06	0.670000E+02	0.500000E+01						
0.200000E+02	0.800000E+00	0.130000E+02	0.167000E+01	0.375000E+01						
0.200000E+02	0.900000E+00	0.500000E+05	0.870000E+02	0.300000E+01						
ROUT(I, J)=OUTPUT CHARACTERISTIC FUNCTION IR=F(VBB, IE)										
0.000000E+00	0.200000E+00	0.500000E+01	0.100000E+02	0.200000E+02						
0.000000E+00	0.000000E+00	0.500000E+03	0.900000E+03	0.180000E+02						
0.100000E+01	0.400000E+00	0.500000E+01	0.150000E+02	0.200000E+02						
0.100000E+01	0.400000E+00	0.500000E+02	0.650000E+02	0.700000E+02						
0.100000E+01	0.600000E+00	0.500000E+01	0.100000E+02	0.200000E+02						
0.100000E+01	0.600000E+00	0.570000E+02	0.113000E+01	0.134000E+01						
0.200000E+01	0.600000E+00	0.500000E+01	0.100000E+02	0.200000E+02						
0.500000E+01	0.500000E+00	0.130000E+01	0.150000E+01	0.170000E+01						

表 3. Computer 出力  
Table 3. Computer output

T	VT	VO1	VE	IE	VBB	IIB
0.000000E+00	0.267608E+00	0.356384E-01	0.231978E+00	0.000000E+00	0.197947E+02	0.178152E-02
0.000000E+00	0.335690E+01	0.271376E-01	0.102976E+01	0.300103E-07	0.197947E+02	0.178152E-02
0.180000E+03	0.181461E+01	0.271376E-01	0.170747E+01	0.650730E-07	0.197947E+02	0.178152E-02
0.240000E+03	0.254700E+01	0.271376E-01	0.291480E+01	0.881646E-07	0.197947E+02	0.178152E-02
0.300000E+03	0.324029E+01	0.271376E-01	0.321315E+01	0.115132E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.360000E+03	0.371663E+01	0.271376E-01	0.386349E+01	0.141020E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.420000E+03	0.455419E+01	0.271376E-01	0.449270E+01	0.165073E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.480000E+03	0.517191E+01	0.271376E-01	0.514478E+01	0.189731E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.540000E+03	0.576456E+01	0.271376E-01	0.573782E+01	0.212634E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.600000E+03	0.633429E+01	0.271376E-01	0.630714E+01	0.234621E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.660000E+03	0.688081E+01	0.271376E-01	0.689336E+01	0.255728E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.720000E+03	0.740548E+01	0.271376E-01	0.737824E+01	0.275990E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.780000E+03	0.790915E+01	0.271376E-01	0.785201E+01	0.295544E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.840000E+02	0.839266E+01	0.271376E-01	0.836593E+01	0.314115E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.900000E+02	0.885683E+01	0.271376E-01	0.882969E+01	0.332041E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.960000E+02	0.930743E+01	0.271376E-01	0.927529E+01	0.349250E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.020000E+02	0.973019E+01	0.271376E-01	0.970305E+01	0.365770E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.080000E+02	0.101406E+02	0.271376E-01	0.101137E+02	0.381629E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.140000E+02	0.105350E+02	0.271376E-01	0.105079E+02	0.396894E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.200000E+02	0.109134E+02	0.271376E-01	0.108863E+02	0.411469E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.260000E+02	0.112767E+02	0.271376E-01	0.112496E+02	0.425499E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.320000E+02	0.116255E+02	0.271376E-01	0.115984E+02	0.438968E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.380000E+02	0.119603E+02	0.271376E-01	0.119332E+02	0.451898E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.440000E+02	0.122817E+02	0.271376E-01	0.122548E+02	0.464311E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.500000E+02	0.125902E+02	0.271376E-01	0.125631E+02	0.476227E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.560000E+02	0.128864E+02	0.271376E-01	0.128593E+02	0.487666E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
1.620000E+02	0.131708E+02	0.271376E-01	0.131437E+02	0.498647E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.212142E+02	0.133121E+02	0.271376E-01	0.132650E+02	0.504105E-06	0.197947E+02	0.178152E-02
0.212142E+02	0.133121E+02	0.324771E+01	0.100644E+02	0.154402E+00	0.124302E+02	0.432206E+01

VBB, AIB, PIE, GB1, GB2, SB1, SB2, RIN, ROUT2, ERR, CHECK)

(4) 回路方程式을 풀기 위한 subroutine

SUBROUTINE RELAX(RIN, ROUT1, ROUT2, X, Y, Z, FT, PEAK, CHECK)

(5) X-Y plotting을 위한 Subroutine[7]

SUBROUTINE XYPT(ND, X, Y, NSX, NSY, NNP)

各 Subroutine을 수행하기 위한 flow chart 및 computer program은 지면이 많이 지기 때문에 생략하기로 하며, 여기서는 computer 入力 data 및 computer output를 表 2와 表 3 및 그림 15에 각각 제시하는 것으로 그치고자 한다.

### 5. 結 論

(1) NSN3T素子를 包含하는 回路網의 computer解析을 爲한 algorithm을 수립하고 이것을 program化 하였으며 실제 回路에 적용하여 그 結果를 얻었다.

(2) NSN3T素子の 特性을 뚜렷이 갖는 素子에 對하여 本 論文에서 제시된 解析技法를 使用함으로써 그러한 素子를 利用하는 回路設計를 가능하게 하여 그 活用범위를 넓힐 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 앞으로 여기에서 취급한 수치해석이나 parameter最適化 技法에 대한 개선 및 mode의 이동에 관한 세밀한 규칙의 제시가 可能할 것으로 판단된다.

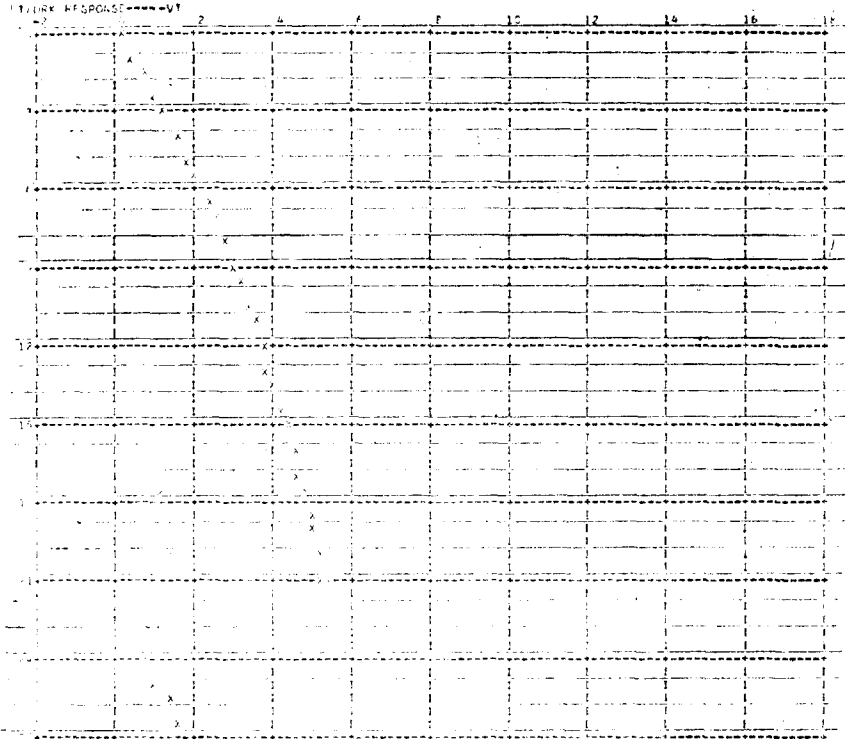


그림 15. Computer 출력 graph  
 Fig. 15. The graph of computer output

參 考 文 獻

(1) L.O. Chua; "Introduction to Nonlinear Network Theory," McGraw-Hill, 1969

(2) T.E. Stern, "Theory of Nonlinear Networks and Systems," Addison-Wesley, 1965

(3) G.J. Herskowitz, "Computer-Aided Integrated Circuit Design," McGraw-Hill, 1968

(4) D.F. Dawson & F.F. Kuo & W.G. Magnuson, "Computer-Aided Design of Electronic Circuits, A User's Viewpoint," Proc. of the IEEE, vol. 55, No. 11, Nov. 1967.

(5) L.S. Lasdon & S.K. Mitter & A.D. Waren "The Conjugate Gradient Method for Optimal Control Problems," IEEE Trans on Automatic Control, Vol. AC-12, No. 2, April 1967.

(6) "The Semiconductor Data Book, 5th ed." Motorola, Inc., 1970.

(7) L.P. Huelsman, "Digital Computation in Basic Circuit Theory," McGraw-Hill 1968