

非綫性多端网络理論的一个应用*

虞 厥 邦

摘 要

文中研究了非綫性多端网络理論的一个重要应用問題——求具有恆定通量的非綫性网络的通量分布的問題。对解題的方法及步驟作了一些初步考虑。文末有一个解桥形网络的实例。

§1 概 說

本文将研究非綫性多端网络理論^[1]应用于非綫性网络分析——即按給定的网络結構及元件特性求通量分布的問題。設仅限于研究具有恆定通量的非綫性网络。

解具有恆定通量的非綫性网络的分析問題的方法,近年来陸續有所发展,如 Бессонов 提出的等效电源法^[2], Ионкин 提出的网络变换法^[3], 王显荣提出的克希荷夫方程法^[4]等。但这些方法具有一定的局限性,将它们实际应用于解較复杂的非綫性网络时,会带来許多計算上的不便,它們能够处理的复杂非綫性网络的种类实际上是很有限的。尽管对其中較有成效的网络变换法作过了一些关于最佳解案的研究^[5],但应用于解結構复杂的非綫性网络时,不可避免地要引入众多的試探通量,还是会使解題的工作变得很繁重。假如对这些分析方法的共同点加以仔細的研究,則它們解題时的不方便性就不难得到解释。上述方法的共同特点在于:在网络中任意选定一个所謂“突破支路”,設法作出这“突破支路”的“內”特性曲綫(按更习用的說法,这实际上就是“突破支路”的外特性曲綫),以及“外”特性曲綫(这实际上是将給定网络除“突破支路”以外的部分視为一个二端网络,这二端网络的外特性曲綫就是上述“突破支路”的“外”特性曲綫)¹⁾,由这两曲綫的交点定出突破支路的通量,再扩大而設法定出其余支路的通量。如上所述,求“突破支路”的“外”特性曲綫的这个手續,實質上就是将除“突破支路”而外的网络部分看作是一个二端网络,而去求它的端压-通量关系。在这个二端网络不能視为混联网络求解时,求它的端压通量关系就势必碰到很大的困难,为此,不得不引入使解題过程大为复杂化的試探通量。总之,过去的作者們企图用二端网络理論来解一切复杂的非綫性网络,这就是現今非綫性网络分析工作的局限性的一个主要癥結。

在非綫性网络分析問題中引入多端网络理論,就可以突破上述的局限性。

§2 应用多端网络理論解非綫性网络分析問題的一般考虑

首先,讓我們建議一个用多端网络理論解非綫性网络的分析問題的基本步驟:

* 1960年2月21日收到。

1) 这里的“內”、“外”特性曲綫是按王显荣的說法。

第一步, 將給定的非綫性网络看成是一些多端网络联接組成的;

第二步, 設法分別求出上述各多端网络的外部位差-通量特性;

第三步, 在这些多端网络联接处根据克希荷夫定律列出方程式, 借此解出联接处, 也就是各多端网络外部的通量及位差;

第四步, 根据上述求得的通量位差定出原給网络中所有其余支路的通量.

如果在作了第二步的工作以后, 采用以代換网络来置換多端网络, 簡化网络結構来进行計算的作法, 看来会遭遇到較大的困难. 因为从数学上的观点看起来, 求 N 端网络的代換网络的問題, 归結为(參看文献[1]中的性質 II)去求出一組含有 $N-1$ 个独立变量的函数(即代換网络中各非綫性元件的位差-通量特性), 使它們按一定的方式組成方程組(即按代換网络的結構利用克希荷夫定律列出的方程組), 并使这方程組的解答就是預給的 $N-1$ 个包含有 $N-1$ 个独立变量的函数(即在第二步中求得的 N 端网络外部的位差-通量特性)¹⁾. 看得出来, 这实质上已經变成相当困难的所謂非綫性网络的綜合問題了.

因此, 我們还是就前述的四个步骤来进行研究和討論. 这几个步骤在原則上是很明确的, 但是在每一步的具体工作中, 都会碰到一些困难和問題. 首先, 不是随便怎样一个多端网络都能很容易地求得其外部位差-通量特性; 其次, 按照克希荷夫定律在各多端网络連接处列出的一些方程来解多端网络外部的通量和位差, 实质上是联立求解这些(非綫性的代数)方程組的問題, 这問題也不是很容易解决的; 再其次, 将一个任意的給定网络究竟視为怎样的多端网络的組合, 才对求它們的外特性时方便, 又不致于使求多端网络联接处的通量及位差的問題变得困难? 凡此种种, 都是一些可以进一步研究的問題. 我們将在这里对上述問題的某些方面进行一些初步的研究.

首先, 讓我們指出, 有一系列的 N 端网络, 它們的外部特性可以这样地求得: 給定 $N-1$ 个端子通量, 或 $N-1$ 个相邻端子間的位差, 或 $N-1$ 个通量及相邻端子間的位差 (m 个位差、 r 个通量, $m+r=N-1$), 則描述 N 端网络外部的位差-通量关系的 $N-1$ 个独立函数, 就可以借对这网络列出的克希荷夫方程很容易地解出.

多面体网络(多面体的頂点就是多端网络的外部端子)就是这样一类网络. 如图 1 中的稜錐形、稜柱形(它們的面可以有对角綫), 对这类网络說来, 如果給定了 $N-1$ 个网络外部端子間的位差, 則很容易將 $N-1$ 个独立的流入端子的通量表为給出的 $N-1$ 个位差的函数.

我們可以举图 1a) 中的三角稜柱形多端网络作为例子. 設給定了 φ_{12} 、 φ_{23} 、 φ_{34} 、 φ_{55} 、 φ_{6N} , 則不难求出表为 φ_{12} 、 φ_{23} 等的函数的 $N-1$ 个流入端子的通量. 事实上, 列出克希荷夫第一定律的方程式有

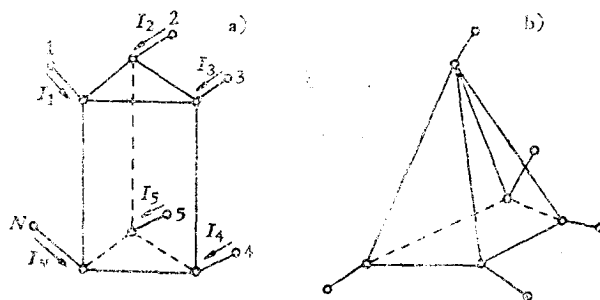


图 1

1) 这一点請參看文献[1]中的性質 I.

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_{12} + I_{13} + I_{1N} \\ I_2 = I_{23} - I_{12} + I_{25} \\ I_3 = I_{34} - I_{13} - I_{23} \\ I_4 = I_{45} - I_{34} + I_{4N} \\ I_5 = I_{5N} - I_{25} - I_{45} \end{array} \right.$$

列出克希荷夫第二定律的方程式有:

$$(2) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_{12} = -E_{12} + \varphi'_{12}(I_{12}) \\ \varphi_{23} = \varphi'_{23}(I_{23}) - E_{23} \\ \varphi_{34} = \varphi'_{34}(I_{34}) - E_{34} \\ \varphi_{45} = \varphi'_{45}(I_{45}) - E_{45} \\ \varphi_{5N} = \varphi'_{5N}(I_{5N}) - E_{5N} \\ \varphi_{13} = \varphi_{12} + \varphi_{23} = \varphi'_{13}(I_{13}) - E_{13} \\ \varphi_{1N} = \varphi_{12} + \varphi_{23} + \varphi_{34} + \varphi_{45} + \varphi_{5N} = \varphi'_{1N}(I_{1N}) - E_{1N} \\ \varphi_{25} = \varphi_{23} + \varphi_{34} + \varphi_{45} = \varphi'_{25}(I_{25}) - E_{25} \\ \varphi_{4N} = \varphi_{45} + \varphi_{5N} = \varphi'_{4N}(I_{4N}) - E_{4N} \end{array} \right.$$

式中, $E_{12}, E_{23} \dots$ 分别是给出的相应支路的电(磁)动势, $\varphi'_{12}, \varphi'_{23} \dots$ 分别是相应支路中非线性元件两端的位差, 这些非线性元件的位差通量特性, 或以 $I_{12}(\varphi'_{12}), I_{23}(\varphi'_{23}) \dots$ 或以 $\varphi'_{12}(I_{12}), \varphi'_{23}(I_{23}) \dots$ 等的形式事先给出. 自(2)分别解出 I_{12}, I_{23} 等, 代入(1)即得:

$$(3) \quad \left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_{12}(\varphi_{12} + E_{12}) + I_{13}(\varphi_{12} + \varphi_{23} + E_{13}) + I_{1N}(\varphi_{12} + \varphi_{23} + \varphi_{34} + \varphi_{45} + \varphi_{5N} + E_{1N}) \\ I_2 = I_{23}(\varphi_{23} + E_{23}) + I_{25}(\varphi_{23} + \varphi_{34} + \varphi_{45} + E_{25}) - I_{12}(\varphi_{12} + E_{12}) \\ I_3 = I_{34}(\varphi_{34} + E_{34}) - I_{13}(\varphi_{12} + \varphi_{23} + E_{13}) - I_{23}(\varphi_{23} + E_{23}) \\ I_4 = I_{45}(\varphi_{45} + E_{45}) + I_{4N}(\varphi_{45} + \varphi_{5N} + E_{4N}) - I_{34}(\varphi_{34} + E_{34}) \\ I_5 = I_{5N}(\varphi_{5N} + E_{5N}) - I_{25}(\varphi_{23} + \varphi_{34} + \varphi_{45} + E_{25}) - I_{45}(\varphi_{45} + E_{45}) \end{array} \right.$$

还应该指出: 给出适当的 m 个相邻端子间的位差, r 个流入端子的通量, 并且 $m + r = N - 1$, 则其余 $N - 1 - m$ 个相邻端子间的位差和 $N - 1 - r$ 个流入端子的通量, 也可以求出来; 但对这类网络说来, 如果给出的是 $N - 1$ 个流入端子的通量, 则 $N - 1$ 个端子间的位差无法求出, 因为无法由给出的通量由式(1)定出网络内部的通量(未知量的数目多于方程数, 解不是唯一确定的).

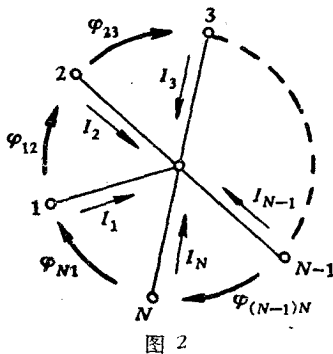


图 2

另外一类这样值得注意的网络就是多射星形网络(图 2)。在给出了流入各端子的通量 $I_1, I_2, \dots, I_k, \dots, I_{N-1}$ 以后, 就可以求出 $N - 1$ 个相邻端子间的位差来. 事实上, 一方面

$$(4) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_{12} = \varphi_{10} - \varphi_{20} \\ \varphi_{23} = \varphi_{20} - \varphi_{30} \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_{(N-1)N} = \varphi_{(N-1)0} - \varphi_{N0} \end{array} \right.$$

另一方面, 由给定的 $I_1, I_2, \dots$, 又可求得

$$(5) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_{10} = \varphi'_{10}(I_1) - E_1 \\ \varphi_{20} = \varphi'_{20}(I_2) - E_2 \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_{N0} = \varphi'_{N0}(I_N) - E_N \end{array} \right.$$

其中, $\varphi'_{10}, \varphi'_{20} \dots$ 等是相应支路中非綫性元件两端的位差. 将(5)代入(4), 又注意到流入这 N 端网络的通量总和为零这一点, 就可以解出以 $N-1$ 个通量表示的 $N-1$ 个独立位差.

对这类网络說来, 給出适当的 m 个相邻端子間的位差和 r 个流入端子的通量, 并且 $m+r=N-1$, 则其余 $N-1-m$ 个相邻端子間的位差和 $N-1-r$ 个流入端子的通量也可以解出; 但如果給出的是 $N-1$ 个相邻端子間的位差, 则 $N-1$ 个流入端子的通量无法解出. 因为要由(5)式求出后者, 必須知道各端子与星形中点間的位差 $\varphi_{10}, \varphi_{20} \dots$, 但是, 不可能根据(4)式由已給的相邻端子間位差 $\varphi_{12}, \varphi_{23} \dots$ 来解出确定的 $\varphi_{10}, \varphi_{20} \dots$, 因为(4)中独立方程的数目少于未知量的个数 N .

由上述可知, 如果将任給的网络分解为一些上述种类的网络, 则它們的外部特性很容易借上述相应的方法求得. 下一步的工作就是在这些多端网络連接处由克希荷夫定律列出方程, 并借此解出連接处的通量及位差. 前已指出, 这是一个解联立非綫性代数方程組的問題. 容易看出来, 如果各个多端网络的端子个数愈少, 则由克希荷夫定律列出的方程个数愈少, 求解的手續愈简单, 因此, 如果只从减少解这个联立方程組的麻煩程度出发, 自然就得出这样的結論: 将給定的网络分解为端子个数 N 愈少的网络愈好. 但是, 这样作常常会伴随着多端网络内部結構的复杂化, 不易求出它們的外部特性. 如果回忆起以前的作者們在这个問題上都取 $N=2$, 結果在求二端网络的端压-通量关系时所遭遇到的巨大困难, 那么我們就不会片面地尽量取小的 N 了. 在这个問題上应该采取这样的原則: 一方面 N 值不要太大, 另一方面也要使得求这些 N 端网络的外部特性时, 不致于遇到太大的困难.

解出了多端网络連接处的通量、位差 (也就是相应的多端网络外部端子的通量、位差), 如果事先已經将多端网络取得是前述的网络, 即可根据它們外部端子的通量、位差求出网络内部的通量分布的, 那么求給定网络中其余支路中的通量就变得是很容易的事了.

§3 一个实例

現在讓我們解一个桥形电路(图3)作为例子. 設每条支路中都包含有非綫性元件和电动势. 非綫性元件的特性設以曲綫的形式在图4中給出; 設支路1、4中的非綫性元件具有如 a 曲綫的特性, 支路2、5为曲綫 c , 支路3、6为曲綫 b (这样的假定目的在于使曲綫图清晰些, 当然它不会招致求解問題的局限性). 电动势的大小为: $E_1 = 30$ 伏, $E_2 = 15$ 伏, $E_3 = 20$ 伏, $E_4 = 4$ 伏, $E_5 = 3.5$ 伏, $E_6 = 43$ 伏. 要求出网络中的电流分布.

在解这題时, 我們將采取数值計算和图解相結合的方法. 設各支路的电流正方向如图4所示. 讓我們采取以下的步驟来进行計算.

表 1 非綫性三端网络 $\Delta 123$ 外特性計算表格

計算 順序	根 据 关 系	參 變 量 I_2 計 算 結 果	0.00							1.00						
U_{12}	設 定		0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
U_4	$U_{12} + E_4$		4.00	9.00	14.0	19.0	24.0	29.0	34.0	4.00	9.00	14.0	19.0	24.0	29.0	34.0
I_4	查曲綫 a		0.83	1.86	2.55	3.30	3.88	4.39	4.88	0.83	1.86	2.55	3.30	3.88	4.39	4.88
I_5	$I_4 - I_2$		0.83	1.86	2.55	3.30	3.88	4.39	4.88	-0.12	0.86	1.55	2.30	2.88	3.39	3.88
U_5	查曲綫 c		6.50	14.6	21.0	29.0	35.8	42.4	49.8	-1.00	6.20	11.8	18.7	24.5	30.0	35.8
U_{23d}	$U_5 + E_5$		10.0	18.1	24.5	32.5	39.3	45.9	53.3	2.50	9.70	15.3	22.2	28.0	33.5	39.3
U_{31}	$-(U_{12} + U_{23d})$		-10.0	-23.1	-34.5	-47.5	-59.3	-70.9	-83.3	-2.50	-14.7	-25.3	-37.2	-48.0	-58.5	-69.3
U_6	$U_{31} + E_6$		33.0	19.9	8.50	-4.50	-16.3	-27.9	-40.3	41.5	28.3	17.7	5.80	-5.00	-15.5	-26.3
I_6	查曲綫 b		2.40	1.40	0.60	-0.30	-1.13	-2.02	-3.00	3.10	2.05	1.24	0.40	-0.35	-1.08	-1.90
I_{1d}	$I_6 - I_4$		1.52	-0.46	-1.95	-3.60	-5.00	-6.40	-7.88	2.22	0.19	-1.31	-2.90	-4.23	-5.47	-6.78

表 2 非綫性三端网络 $Y0123$ 外特性計算表格

計算 順序	根 据 关 系	參 變 量 I_2 計 算 結 果	0.00							1.00						
			$U_2 = 0.00$							$U_2 = 7.50$						
			$U_{30} = -15.0$							$U_{30} = -7.50$						
U_{12}	設 定		0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
U_{10}	$U_{12} + U_{30}$		-15.0	-10.0	-5.00	0.00	5.00	10.0	15.0	-7.50	-2.50	2.50	7.50	12.5	17.5	22.5
U_1	$U_{10} - E_1$		-45.0	-40.0	-35.0	-30.0	-25.0	-20.0	-15.0	-37.5	-32.5	-27.5	-22.5	-17.5	-12.5	-7.50
I_{1Y}	查曲綫 a		-5.81	-5.40	-4.98	-4.48	-3.99	-3.42	-2.78	-5.20	-4.75	-4.24	-3.70	-3.10	-2.40	-1.59
I_6	$-(I_{1Y} + I_2)$		5.81	5.40	4.98	4.48	3.99	3.42	2.78	4.20	3.75	3.24	2.70	2.10	1.40	0.59
U_3	查曲綫 b		67.0	63.8	60.2	56.7	51.0	45.0	37.7	53.0	48.5	43.0	36.5	29.0	20.0	8.00
U_{30}	$U_3 - E_3$		47.0	43.8	40.2	36.7	31.0	25.0	17.7	33.0	28.5	23.0	16.5	9.00	0.00	-12.0
U_{30Y}	$U_{30} - U_{30}$		-62.0	-58.8	-55.2	-51.7	-46.0	-40.0	-32.7	-40.5	-36.0	-30.5	-24.5	-16.5	-7.50	-4.50

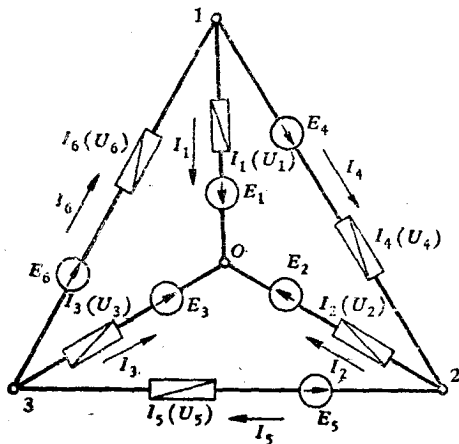


图 3

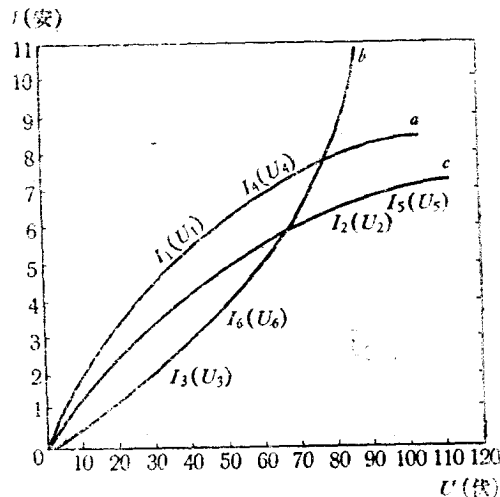


图 4

I. 將給定的桥路視為两个三端网络的組合,即星形 $Y0123$,三角形 $\Delta 123$,它們封閉起来就成了給定的网络。

电位差单位: 伏

电流单位: 安

2.00					3.00							4.00						
10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
14.0	19.0	24.0	29.0	34.0	4.00	9.00	14.0	19.0	24.0	29.0	34.0	4.00	9.00	14.0	19.0	24.0	29.0	34.0
2.55	3.30	3.88	4.39	4.88	0.88	1.86	2.55	3.30	3.88	4.39	4.88	0.88	1.86	2.55	3.30	3.88	4.39	4.88
0.55	1.30	1.88	2.39	2.88	-2.12	-1.14	-0.45	0.30	0.88	1.39	1.88	-3.12	-2.14	-1.45	-0.70	-0.12	0.39	0.88
4.00	10.0	14.8	19.5	24.5	-17.0	-8.50	-3.20	2.00	6.50	10.2	14.8	-27.0	-17.2	-10.5	-5.00	-1.00	2.80	6.50
7.50	13.5	18.3	23.0	28.0	-13.5	-5.00	0.30	5.50	10.0	13.7	18.3	-23.5	-13.7	-7.00	-1.50	2.50	6.30	10.0
-17.5	-28.5	-38.3	-48.0	-58.0	13.5	0.00	-10.3	-20.5	-30.0	-38.7	-48.3	23.5	8.70	-3.00	-13.5	-22.5	-31.3	-40.0
25.5	14.5	4.70	-5.00	-15.0	56.5	44.0	32.7	22.5	13.0	4.30	-5.30	66.5	51.7	40.0	29.5	20.5	12.7	3.00
1.85	1.00	0.32	-0.35	-1.05	4.55	3.24	2.35	1.58	0.85	0.28	-0.38	5.80	4.10	3.00	2.08	1.40	0.80	0.20
-0.70	-2.30	-3.56	-4.74	-5.93	3.67	1.38	-0.20	-1.72	-3.03	-4.10	-5.26	4.92	2.24	0.45	-1.22	-2.48	-3.49	-4.68

电位差单位: 伏

电流单位: 安

$U_g = 16.0$					$U_g = 25.7$					$U_g = 37.2$								
$U_{20} = 1.00$					$U_{20} = 10.7$					$U_{20} = 22.2$								
10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0	0.00	5.00	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
11.0	16.0	21.0	26.0	31.0	10.7	15.7	20.7	25.7	30.7	35.7	40.7	22.7	27.2	32.2	37.2	42.2	47.2	52.2
-19.0	-14.0	-9.00	-4.00	1.00	-19.3	-14.3	-9.3	-4.30	0.70	5.70	10.7	-7.80	-2.80	2.20	7.20	12.2	17.2	22.2
-3.30	-2.65	-1.88	-0.90	0.20	-3.35	-2.70	-1.90	-0.95	0.10	1.20	2.12	-1.60	-0.60	0.54	1.54	2.40	3.10	3.70
1.30	0.65	-0.12	-1.10	-2.20	0.35	-0.30	-1.10	-2.05	-3.10	-4.20	-5.12	-2.40	-3.40	-4.54	-5.54	-6.40	-7.10	-7.70
18.5	9.50	-1.50	-15.5	-30.0	5.00	-4.00	-15.5	-28.4	-41.5	-53.0	-61.5	-33.0	-44.8	-56.5	-64.8	-70.7	-74.8	-77.0
-1.50	-10.5	-21.5	-35.5	-50.0	-15.0	-24.0	-35.5	-48.4	-61.5	-73.0	-81.5	-53.0	-64.8	-76.5	-84.8	-90.7	-94.8	-97.0
2.50	11.5	22.5	36.5	51.0	25.7	34.7	46.2	59.1	72.2	83.7	92.2	75.2	87.0	98.7	107	113	117	119

II. 既然两个都是三端网络,由文献[1]的性质 I, 选定一个端子电流 I_2 和从端子 1 至端子 2 的电压 U_{12} 作为独立自变量,则求得两个独立函数 $I_1(U_{12}, I_2)$, $U_{23}(U_{12}, I_2)$ 后,三端网络就被完全地决定了. 对于这样两个三端网络,设若给定了 U_{12}, I_2 , 则 I_1, U_{23} 是很容易借三端网络内部所列出的克希荷夫方程解出的(如果选两个电压作独立自变量,三角形的外特性好求,但星形的外特性不好求;如果选两个端子电流作独立自变量,情形正好反过来). 在表 1 的第一、二两列中给出了 $\Delta 123$ 的方程式,表 2 的第一、二两列中给出了 $Y0123$ 的方程. 计算的程序以及数值的结果都在表中很清楚的给了出来,因此就不在这里赘述.

III. 在两个三端网络连接的地方即节点 1、2、3, 根据克希荷夫定律应有

$$(6) \quad I_{1\Delta}(U_{12}, I_2) = I_{1Y}(U_{12}, I_2)$$

$$(7) \quad U_{23\Delta}(U_{12}, I_2) = U_{23Y}(U_{12}, I_2)$$

先根据 (6) 式进行图解, 将 $I_{1\Delta}(U_{12}, I_2)$, $I_{1Y}(U_{12}, I_2)$ 这两族曲线画在 I_1-U_{12} 坐标平面上(图 5), 这两族曲线对应于同一参变量 I_2 的值的交点就给出了一条曲线 $I'_2(U_{12})$, 这就是由 (6) 式所解出的一个函数. 其次, 再根据 (7) 式进行图解, 为此, 将 $U_{23\Delta}(U_{12}, I_2)$ 和 $U_{23Y}(U_{12}, I_2)$ 也画在同一的 $U_{23}-U_{12}$ 平面上(图 6), 这两族曲线对应于同一 I_2 值的交点

就给出了一条曲线 $I_1'(U_{12})$ ，这就是由式(7)解出的一个函数。不难理解，将 $I_1'(U_{12})$ ， $I_2'(U_{12})$ 画在同一坐标平面上(图7)，两条曲线的交点就分别给出了所要求的解答。由图定出 $U_{12} = 16.0$ 伏， $I_2 = 2.02$ 安。然后，回到图6和图5，根据 $U_{12} = 16$ 伏，分别由曲线查得 $I_1 = -2.60$ 安， $U_{23} = 14.0$ 伏。随之

$$U_{31} = -(U_{12} + U_{23}) = -(16 + 14) = -30 \text{ 伏.}$$

以及

$$I_3 = -(I_1 + I_2) = -(2.02 - 2.6) = 0.58 \text{ 安.}$$

IV. 求网络中其余支路中的电流，为此，先由克希荷夫第二定律算出

$$U_4 = U_{12} + E_4 = 16 + 4 = 20 \text{ 伏.}$$

然后，由 $I_4(U_4)$ 查得 $I_4 = 3.45$ 安。

仿此，

$$U_5 = U_{23} - E_5 = 14 - 3.5 = 10.5 \text{ 伏，}$$

由 $I_5(U_5)$ 查得 $I_5 = 1.43$ 安，

$$U_6 = U_{31} + E_6 = -30 + 43 = 13 \text{ 伏，}$$

由 $I_6(U_6)$ 查得 $I_6 = 0.85$ 安。

为了检查所得解答有无错误，利用克希荷夫第一定律进行校验。

对节点1：

$$I_1 + I_4 - I_6 = -2.6 + 3.45 - 0.85 = 0$$

正确

对节点2：

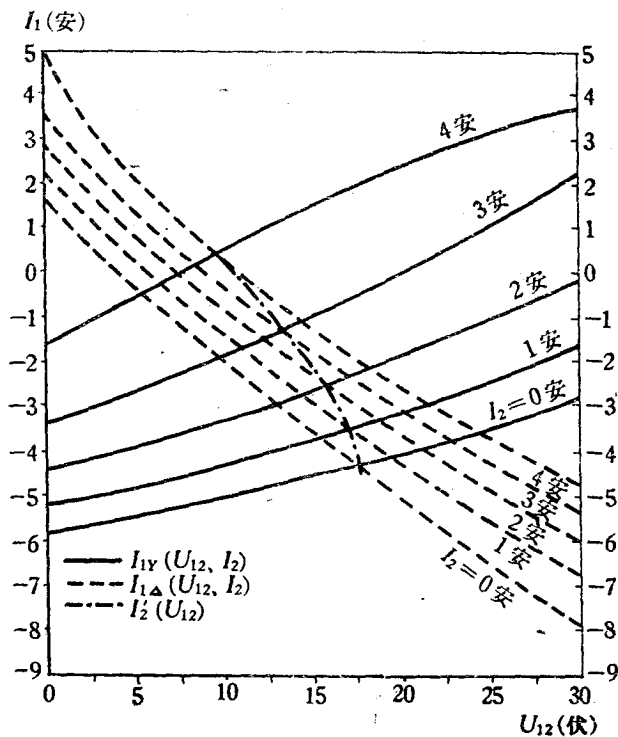


图 5

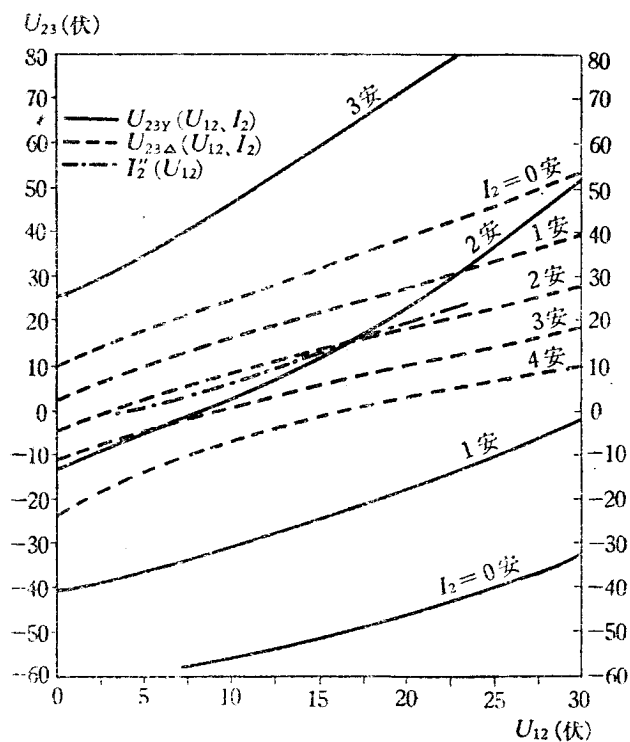


图 6

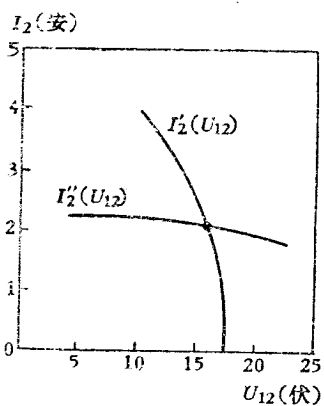


图 7

$$I_2 + I_5 - I_4 = 2.02 + 1.43 - 3.45 = 0$$

正确

对节点 3:

$$I_3 + I_6 - I_5 = 0.53 + 0.85 - 1.43 = 0$$

正确

证明计算无误。

应该指出,编制表格所进行的计算,如果利用现代的电子计算机,就会迅速地得到所要求的结果。

参 考 文 献

- [1] 虞厥邦, 非綫性多端网络理論(見本期物理学报).
- [2] Бессонов, Л. А. *Электричество* 12 (1955), 39.
- [3] Ионкин, П. А. *Электричество* 12 (1956), 21.
- [4] 王显荣, 物理学报 15 (1959), 123.
- [5] 虞厥邦, 物理学报 15 (1959), 601.

AN APPLICATION OF THE NONLINEAR NETWORK THEORY

YU CHUEI-PANG

ABSTRACT

As an important aspect of the application of nonlinear polyterminal network theory suggested in the accompanied paper, the problem of finding the flux distribution in the nonlinear networks with constant flux is discussed in this paper.

This polyterminal network method breaks the restriction of the previous methods for solving the nonlinear networks with constant flux. The procedure of this method with an example of solving the flux distribution in bridge circuit is given.