

线性化中最佳折线的确定方法

徐 亮

(上海工业自动化仪表研究所)

摘 要

本文提出了线性化中最佳折线的概念,推导出一种合理确定线性化中最佳折线的计算方法。

笔者曾用此法设计制作了 WFH-60 型红外辐射温度计的线性化器,将非线性度约 42% 的曲线进行线性化,其线性化精度可达 $\pm 0.5\%$ 。

用线性化器进行非线性校正时,线性化器的输入-输出特性曲线应是被校曲线的反函数。工程上可采用折线近似法,使线性化器产生一条近似于被校曲线反函数的折线^[1](图 1)。

由折线近似法引入的误差体现在线性化精度这一指标上,它的大小取决于被校曲线的非线性度和线性化器所产生的折线。被校曲线往往不易更改,所以提高线性化精度的关键在于折线的选择。

一、最佳折线

用折线近似地描述被校曲线的反函数时,分段数越多,折线越逼近于被校曲线的反函数,线性化精度越高。但线路复杂、调试困难、成本高,故应选取满足线性化精度指标的最少分段数。

折点位置不同,导致误差分布不同。只有当误差在各折线段均布时,各段产生的最大误差才会趋于一致,此时误差最小。

因而合理的设计应使线性化器产生最佳折线。作为最佳折线必须具备以下两个条件: 1) 具有满足线性化精度指标的最少分段数; 2) 误差双向分布,且在各折线段均布。

实验法中采用的均分被测参数量程所得的不是最佳折线。采用本文提出的计算方法,可以获得最佳折线。

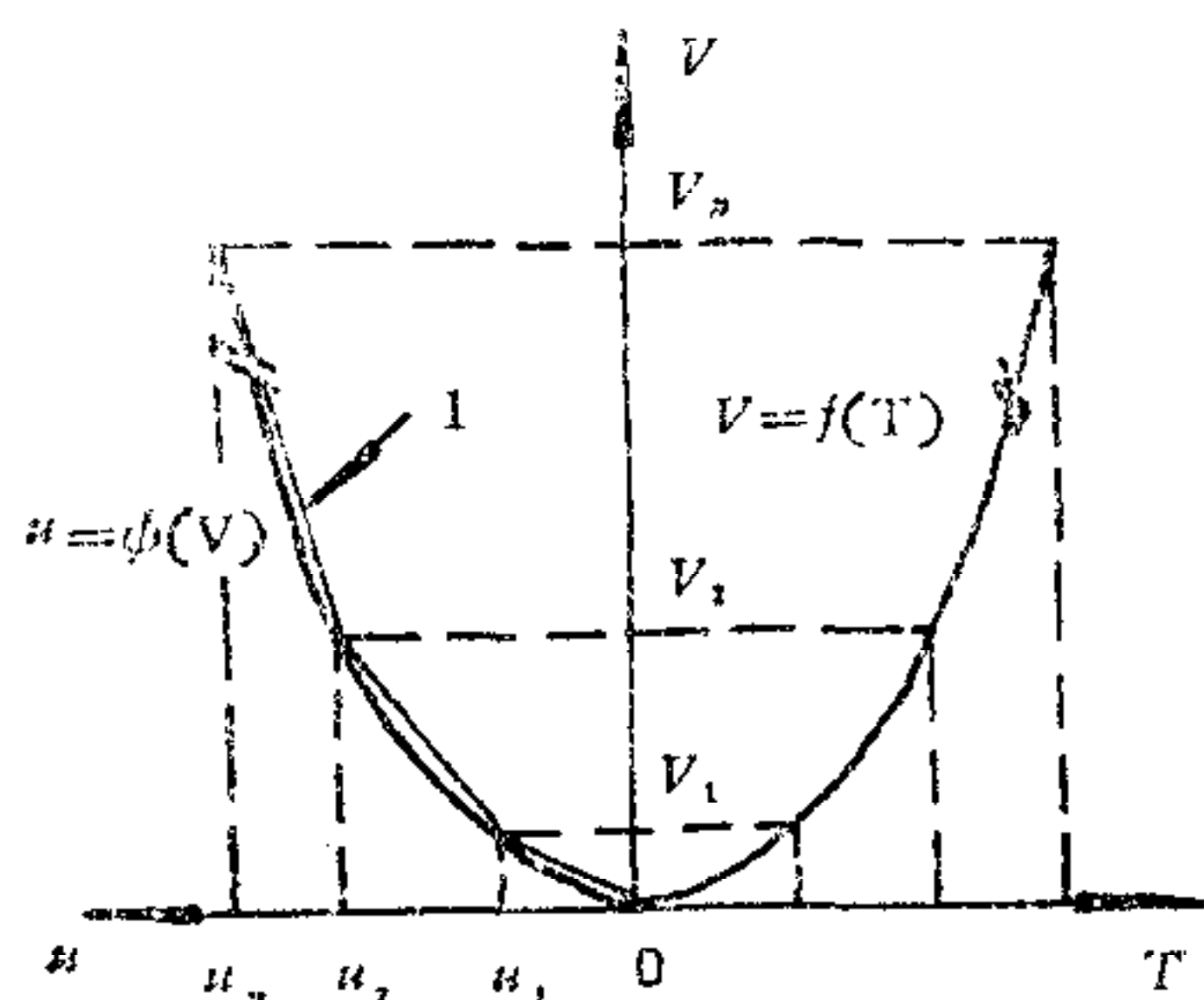


图1 折线近似法(1——折线)。

二、计算方法

设已知: 1) 被校曲线(用函数式表达) $V = f(T)$;

- 2) 线性化精度指标 $\pm \xi$;
 3) 线性化器输出信号范围.

由以上条件可计算出线性化中最佳折线的分段数及折点位置. 从被校曲线可求得其反函数为:

$$u = \phi(V) \quad (1)$$

折线方程为:

$$u = K_i(V - V_{i-1}) + u_{i-1} \quad (2)$$

式中 K_i 为各折线段的斜率,

$$K_i = \frac{u_i - u_{i-1}}{V_i - V_{i-1}}, \quad i = 1, 2, 3 \cdots n,$$

$V_{i-1}, u_{i-1}, V_i, u_i$ 为各折点的 u, V 值.

以折线近似地描述被校曲线的反函数而引入的误差:

$$\Delta u = \phi(V) - [K_i(V - V_{i-1}) + u_{i-1}], \quad (3)$$

各折线段的最大误差发生在 V' 处:

$$\frac{d[\phi(V')]}{dV} - K_i = 0. \quad (4)$$

各折线段的最大误差值为:

$$\Delta u_m = \phi(V') - [K_i(V' - V_{i-1}) + u_{i-1}]. \quad (5)$$

若预先确定一个折点, 则 V_{i-1}, u_{i-1} 为已知. 一般计算时可将被校曲线反函数的起始点作为第一个折点, 记作 V_0, u_0 .

从已知条件 2), 3) 又可定出允许的最大误差 $\Delta u'_m$.

$$\pm \xi = \frac{\pm \Delta u'_m}{u_{\max} - u_{\min}} \times 100\%. \quad (6)$$

6 式中 u_{\max}, u_{\min} 为量程上、下限所对应的 u 值.

已知 ξ, u_{\max}, u_{\min} 就可求得允许的最大误差 $\pm \Delta u'_m$. 计算时取 $2\Delta u'_m$ 作为 Δu_m 进行计算, 然后再平移一个 $\Delta u'_m$, 使误差为双向分布.

由此, (1), (4), (5) 三式仅包含三个未知量, 即 V_i, u_i, V' . 故可解得符合 Δu_m 要求的 V_1, u_1 , 得到第二个折点. 此时第一段产生的最大误差 Δu_{m1} 即 Δu_m . 再以 V_1, u_1 为已知折点, 又可解得 V_2, u_2 得到第三个折点, 同样 Δu_{m2} 即 Δu_m . 依此类推, 直到最后一段. 显然这样所得的分段数是符合线性化精度指标的最少分段数.

最后一段计算的结果有二种可能, 一是所算得的 V_n, u_n 刚好是被校曲线的反函数的上限值, 则计算完毕. 从计算过程可知, 由于各段都用 Δu_m 算得, 故其分段数是符合线性化指标的最少分段数; 计算结果 Δu_{mi} 都等于 Δu_m , 故误差在各折线段是均布的, 算得折线只要平移一个 $\Delta u'_m$ 即为最佳折线. 显然绝大部分属第二种情况, 即算得的 V_n, u_n 已超过被校曲线反函数的上限值. 此时应将上限值和 V_{n-1}, u_{n-1} 代入 (4), (5) 式解出 Δu_{mn} , 若其值接近 Δu_m , 也可认为误差在各折线段已均布, 计算结果只要平移一个 $\Delta u'_m$ 即为最佳折线. 若其值比 Δu_m 小得多, 这说明误差尚未均布, 修正 Δu_m 后再算, 直到误差在各折线段均布为止. 计算结果 Δu_{mi} 小于 Δu_m . 同样要平移 $\Delta u'_m$ 之后才得最佳折线.

计算所得的折线引起的误差为单向分布, 各折线段还需平移一个 $\Delta u'_m$, 才会双向分布. 当被校曲线的反函数为凸型曲线 $\left(\frac{d^2[\phi(V)]}{dV^2} < 0\right)$ 时, 各折线段向上平移 $\Delta u'_m$ (图

2); 当其为凹型曲线 ($\frac{d^2[\phi(V)]}{dV^2} > 0$) 时, 各折线段向下平移 $\Delta u'_m$ 。平移后, 各折点的 V_i

值不变, 即为计算值。其 u'_i 值为: 计算值 u_i 加上 $\Delta u'_m$ (凸型曲线); 计算值 u_i 减去 $\Delta u'_m$ (凹型曲线)。由 V_i, u'_i 组成的折线即为符合上述条件的最佳折线。

被校曲线为单调函数时按上述方法已能计算。若被校曲线包含拐点, 只要在拐点处稍加考虑后, 上述方法同样适用, 这里不赘述。

三、WFH-60 型红外辐射温度计 (500—800°C) 的最佳折线

仪表的分度曲线¹⁾:

$$V = 43.264 \times 10^{-15} [V_A e^{\frac{c_2}{\lambda_e} (\frac{1}{273} - \frac{1}{T})} - 0.63847 \times 10^{15}] \quad (7)$$

式中 T 为被测温度(K),

$$C_2 = 14388 (\mu\text{m} \cdot \text{K});$$

V 为变送器输出信号(V),

$$V_A = 1(V);$$

λ_e 为仪表有效波长, $\lambda_e = 1 \mu\text{m}$ 。

由该仪表的分度曲线及线性化精度指标为小于 $\pm 0.5\%$ 、输出信号范围为 0—5V 算得最佳折线和误差为表 1。

表 1

i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V_i (mV)	0.000	21.867	60.722	127.55	240.42	427.60	732.57	1220.5	1987.2	3192.7	5000.1
u'_i (mV)	13.700	430.38	872.05	1330.4	1805.4	2297.1	2733.4	3329.7	3872.1	4438.8	5013.8
$\pm \Delta u'_m$ (mV)	13.7	13.7	14.0	14.2	13.7	13.7	13.9	13.7	13.7	13.9	13.7

其分度曲线的非线性度约 42%, 表内 V_i, u'_i 构成十段折线为最佳折线。按此设计制作的线性化器的线性化精度小于 $\pm 0.5\%$ 。

参 考 文 献

[1] 盛满利, デイジタル温度表示装置 DIC, 横河技报 14(1970), 1—7。

1) 姜世昌等, 单波段辐射温度变送器分度特性一致性研究, 检测与转换新技术学术论文集(2)上海工业自动化仪表研究所印。

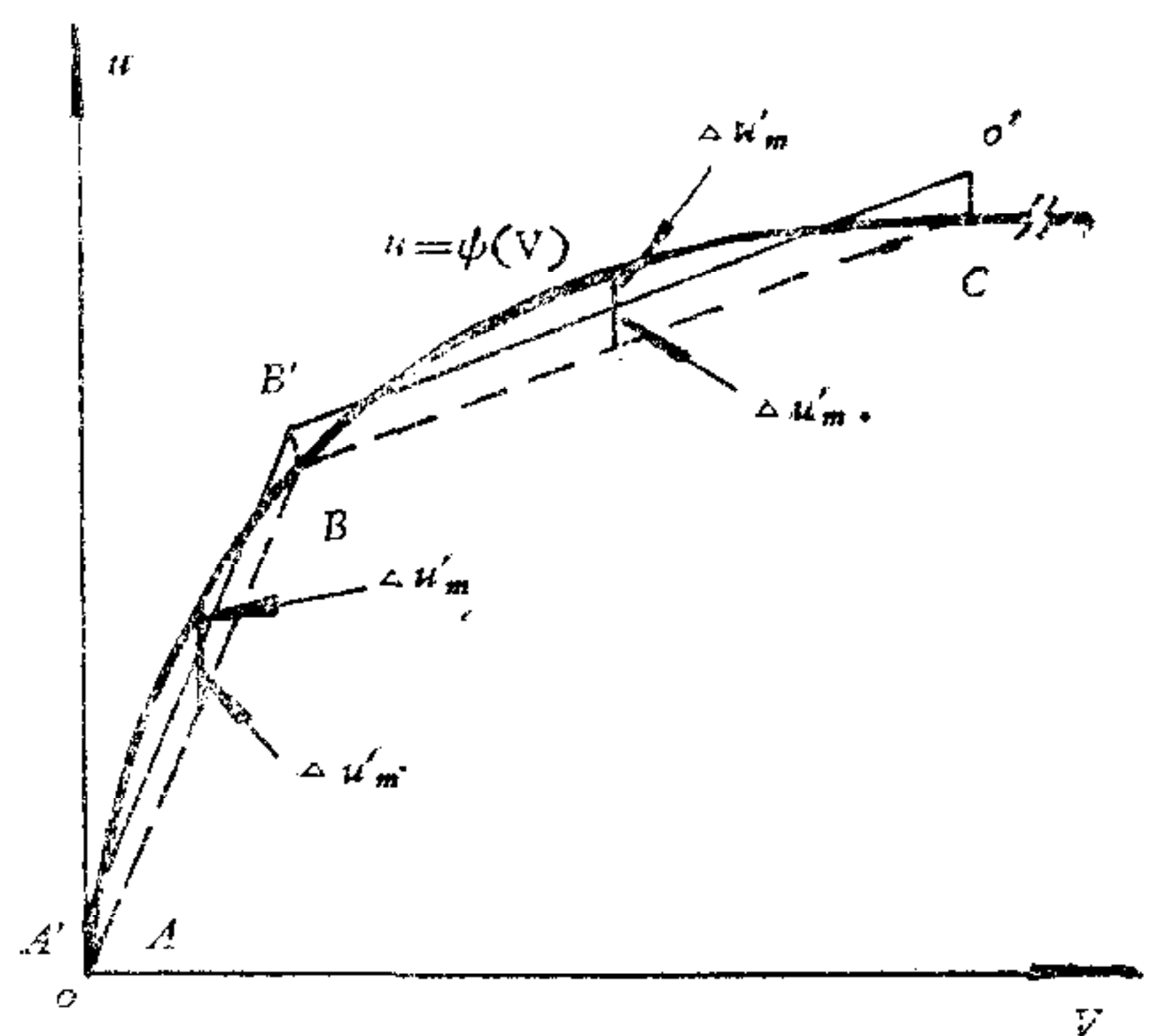


图 2 误差双向分布的求法

A METHOD OF DETERMINING OPTIMUM BROKEN LINES IN LINEARIZATION

XU LIANG

(Shanghai Institute of Process Automation Instrumentation)

ABSTRACT

A concept of optimum broken lines in linearization is described and an appropriate calculating method for determining the optimum broken lines is thus derived.

The author has used this method to design the linearization device for type WFH-60 infrared radiation pyrometer. The characteristic curve, the original non-linearity of which was about 42%, has been linearized with a linearity error not exceeding $\pm 0.5\%$.

学术活动简讯

中国自动化学会控制理论委员会召开第三届全国 控制理论及其应用学术交流会

中国自动化学会控制理论委员会于一九八二年五月十五日至二十一日在四川省召开了第三届全国控制理论及其应用学术交流会。参加这次会议的有来自全国九十多个单位的一百名正式代表和四十七名列席代表。代表们分四个组宣读了八十一篇学术论文,并进行了讨论。除此以外,大会还组织了三个介绍国外控制理论研究、教学工作情况的专题报告及五个专题性讨论。

这次会议有以下几个特点: 1)现代控制理论在工农业生产中的应用越来越受到重视。在宣读的八十一篇论文中,应用性文章约占25%,涉及到油田开发和产量预报,航天、航空工业,精密仪器研制,生产过程自动化,生物医学及社会经济控制等方面。有的已取得了很好的经济效果。理论性和方法性的文章大都有一定的实际背景,将不断推动我国控制理论的发展和运用; 2)新生力量正在不断成长,表现在与会代表显著的年轻化,在报告的论文中,研究生的论文约占三分之一; 3)出现了一些经典理论与现代控制理论相结合解决实际问题的应用性论文。这些论文表明完全用经典理论不能很好解决的一些问题,通过经典理论与现代控制理论相结合能够较好地得到解决。

会议呼吁有关单位和部门努力为应用性理论研究和应用研究的科学工作者创造条件,使自动控制理论为我国四个现代化建设作出更大的成绩,会议建议有关单位研究更多更好的简单有效的计算方法,使软件系统进一步通用化,并逐步完善程序包的设计和使用,以促进现代控制理论的应用。