

答“‘用摄动法定量研究二阶锁相环的非线性性能’一文的商榷”*

路 益 蕙

(中国科学院电子学研究所)

提 要

本文就作者曾发表的文章(1982)中主要论述的问题——锁相环处于失锁状态时它对压控振荡器中线性调频的影响作进一步讨论,以澄清“商榷”一文(1985)中某些模糊概念。

(一)“商榷”^[1]提出商榷的第一个问题是“当 ε 值在 $(0, 1)$ 之间时,环路能否变成近于线性系统?能否用摄动法求渐近解?”

1. 在调频期间,环路处于失锁状态;一般地说,整个环路系统是严重非线性的;当 ε 值在 $(0, 1)$ 之间时,环路对压控振荡器(VCO)调频的影响,相对理想线性调频的VCO系统而言,可以看成是近于线性系统。

换言之,“原文”^[2-4]在用“近于线性系统”这一术语时所指的线性系统是 $\ddot{\phi} + 1 = 0$, 即加理想直线斜坡电压的VCO系统。

2. 在调频期外,环路处于锁定状态(除调频结束瞬间),因而在锁定点附近,环路系统(包括VCO在内)可近似成线性系统。从而不存在 ε 值在 $(0, 1)$ 区间,环路能否为近于线性系统的问题。

3. “商榷”将在 $\ddot{\phi} + 1 = 0$ 附近摄动求解过程和非线性锁相方程的线性化,两个概念混为一谈(见“商榷”的196—197页),也就是说,用环路方程线性化观点讨论不同 ε 值时是否近于线性系统的问题,从而混淆了问题的实质,曲解了原文的含义。

4. 摄动法是求解非线性微分方程的一种方法。提请注意的是,只有摄动参数 ε 为小参数时,才能用摄动法求解。

这里所谓“小参数”并不单纯是“数”的概念(诸如 $\varepsilon < 1$, $\varepsilon < 0.2$ 等),而是指参数摄动后的系统的相图和原系统的相比未发生本质变化时的摄动参数**。

由于所述锁相系统在 $0 < \varepsilon < 1$ 时,其相图的拓扑结构相对 $\ddot{\phi} + 1 = 0$ 的VCO线性调频系统的相图未发生质变,故取 $0 < \varepsilon < 1$ 作为小参数是合适的。当然,正如原文已叙述的,实用中为使环路对调频波形的影响降到允许范围, ε 取值要足够小,到底小到多少为宜,要由具体应用场合的精度要求来确定。

5. 同样,“近于线性系统”(即非线性微分方程理论中的“nearly linear system”)中的“近

* 1985年8月6日收到

** “小参数”、“近于线性系统”两概念应如何理解才正确,与摄动法适用条件密切相关。对于这个问题可参考文献[5]中举的例子和文献[6]论及摄动法适用条件时所举水中气泡膨胀的例子,这些例子均说明前述理解是有根据的。

于”一词,并非纯是数量的度量,而有其质的含义。举例来说,如原系统为线性的,经参数摄动变为非线性系统。若摄动后系统的相图和原系统的相比,至少在某一特定范围内,未发生本质改变,则可称之为近于线性(即近于原系统)。只有近于原系统的系统,方可应用摄动法在原系统基础上摄动求解*。

顺便一提,误差大小是与应用场合密切关联的。同一量,譬如频率,具有 10^{-5} 精度就可为一般频率测量所接受,可视作小误差;但对频率标准就被视为大误差,而不能容忍。“商榷”用误差大小(当 $\varepsilon \leq 0.2$)作为划分系统是否为近于线性系统的标准,从而推论“原文”所用方法本身不成立是不恰当的。

附带指出:在文献[2]结束语中,“但当 ε 值在[0,1]之间时”是笔误,应是在(0,1)之间时。又“商榷”认为 $\varepsilon = 1$ 时也能用摄动法求解这是不对的。

(二)“商榷”提出的第二、三个问题,集中起来是:

1. 不能用理想直线斜坡电压而应用具有直线上升、下降沿的直线斜坡电压来分析问题。理由是“激励电压的前后沿均有一个上升或下降时间”,即实际情况。

照此逻辑,用具有直线上升或下降沿的斜坡电压来分析也是不正确的,因为实际的上升和下降沿并非直线而多为近于指数的曲线,理想直线斜坡电压是不存在的,只有近于指数曲线才比较符合实际……。

“原文”的主要目的是分析失锁环路对 VCO 线性调频的影响。自然应该抓住对理想直线斜坡电压作用于 VCO 的作用机理这一本质问题的分析。至于沿的形状则属于枝节问题,那种否认一定理论抽象在分析实际问题时的必要性的论点,无助于深刻认识自然规律。

2. 相干性问题

“原文”未论述这一问题。“商榷”对(13)式的分析认为最大频偏点(A)的频率和基准频率稳定度不一致是相干性破坏的标志。其实,合成孔径雷达中相干性的正确分析是将线性调频的中心频率与基准频率相比较。由于这一问题已超出“原文”论述的范围,故不在此详述。

最后,作者欢迎各种商榷讨论,这对弄清学术问题是有益的。“原文”尚有叙述过简之处,谨向读者致歉,并对“商榷”指出一些笔误表示谢意。

参 考 文 献

- [1] 李明中,电子科学学刊,7(1985),195.
- [2] 路益蕙,电子学通讯,4(1982),235.
- [3] Lu Yihui, A Quantitative Research of Nonlinear Behaviour of a Phase-Locked Loop, 1982, IEEE International Symposium on Circuits and Systems Proceedings vol. 2 of 3, p. 301—304.
- [4] Lu Yihui, IEEE Trans. on COM, COM-30 (1982), 2274.
- [5] N. Minosky, Nonlinear Oscillations, D. Van Nostrand Com., Inc., 1962, p. 214.
- [6] 丁汝,摄动法及其在力学中的应用,中国科学院力学研究所,内部资料,1980年11月, p. 8—9.

* 见前页末的注。

**A REPLY TO "A DISCUSSION ON 'A QUANTITATIVE
RESEARCH OF NONLINEAR BEHAVIOUR OF A
SECOND-ORDER PHASE-LOCKED LOOP BY
PERTURBATION METHOD' "**

Lu Yihui

(Institute of Electronics, Academia Sinica)

In this paper, the main issue presented in author's paper published in Journal of Electronics (Vol. 4 No. 4, July, 1982) and Proceedings of International Symposium on Circuits and Systems (Rome, May, 1982) about the effects of unlocked loop on the LFM waveform are further expounded in order to clear up some vague concepts in a discussion published in Journal of Electronics (Vol. 7, No. 3, May, 1985).