

(10) 55 60

提高光纤传感器稳定性的补偿网络的研究

Study on New Technology of Compensation Network for Improving the Stability of Optical Fiber Sensor

刘桂雄 钟先信[✓] 黎凯
Liu Guixiong Zhong Xianxin Li Kai
(重庆大学国家教委光电技术及系统开放实验室, 重庆, 630044)

TD 212
TV 25

A 摘要 提出了一种用以提高强度调制型光纤传感器稳定性的全光纤三节点补偿网络, 并给出了受环境影响最小的最佳网络结构参数。介绍了网络参数标定方法和节点参数受温度、振动等因素影响的结果。

关键词 强度调制; 光纤传感器; 光导纤维; 补偿网络; 稳定性

中国图书资料分类法分类号 TH74

ABSTRACT This Paper describes a novel all-fiber compensation network with three access-couplers for improving the stability of amplitude modulated fiber optical sensors, and its optimum structure which is independent on environment effects. We also describe the scaling method of the compensation network and the experiment of its coupler parameter variation caused by temperature and vibration. The experiment results showed that the compensation network can effectively resist the measurement error affected by the intensity variation of the optical source and other transmission loss.

KEYWORDS intensity modulation; optoelectronic sensor; optical fiber; compensation network; stability

0 引 言

从 80 年代中期起, 对强度调制光纤传感补偿技术研究就一直成为光纤传感领域的一个热门课题^[1]。迄今为止, 网络法被认为是补偿特性最为完善的方法之一, 它在网络参数不变的情况下, 能够有效地补偿光源波动、传输损耗变化、光电器件漂移、放大倍数的变化等几乎所有因素的影响, 国外以英国斯特科莱大学著名光纤专家 B. Culshaw^[2]、美国航天管理局 G. Beheim^[3]对网络的研究显得较为突出。我校光机所从 1983 年起先后得到能源部、国家教委博士点基金、国家自然科学基金的资助, 发明了四端光学补偿网络^[4]并将其成功地应用于光纤粉尘浓度测量仪中, 引起了国内外同行的关注, 先后收到美国、德国、印度、波兰、菲律宾

* 收文日期 1994-06-10
国家自然科学基金资助项目(69174022)

等国学者来索要论文及要求合作。

目前对补偿网络技术存在不足之处是:1)人们往往对网络的研究只是关心网络补偿的最终结果,而对网络本身的特性还未作深入更细致的研究,并假定网络的结构参数是不变的,实际上,由于温度、振动等因素的影响,网络的结构参数要发生漂移;2)对网络补偿的研究,仅仅考虑传输光纤上扰动是直流的情况,忽视了信号处理方法对网络性能的影响。

针对上述的问题,我们提出一种新颖的数字式全光纤三节点补偿网络系统,研究了受环境影响最小的最佳网络结构参数^[5],该网络结构简单,实现起来容易。在本文中更多地介绍最近我们的一些工作,包括网络参数标定方法、网络节点参数受温度、振动等因素影响下的情况及对光源强度变化的补偿实验等。

1 三节点全光纤补偿网络工作原理及最佳网络结构

图 1 为数字式三节点全光纤补偿网络系统的原理图;图 2 为网络的内部结构原理图;图 3 是我们设计由电子工业部 34 所光电分所制作的全光纤补偿网络外形图。

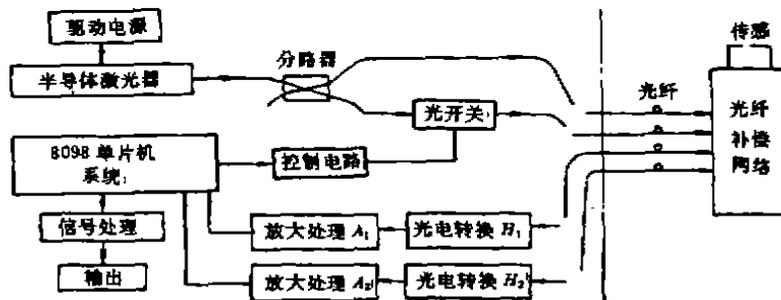


图 1 数字式三节点全光纤补偿网络系统原理图

网络的工作原理是:

当光纤信号 I_1 从 T_1 端进入网络,输出的光信号经过光电转换和放大处理,计算机就得到两路信号 P_{11} 和 P_{12} ;同理当光信号 I_2 从 T_2 进入网络,得到 P_{21} 和 P_{22} ,其大小为:

$$P_{11} = I_1 e_1 k_1 e_3 H_1 A_1 [a_1 L_m k_4 + (1 - a_1) k_2 a_2 k_5]$$

$$P_{12} = I_1 e_1 k_1 e_4 H_2 A_2 (1 - a_1) k_2 (1 - a_2)$$

$$P_{21} = I_2 e_2 k_3 a_3 k_5 e_3 H_1 A_1$$

$$P_{22} = I_2 e_2 k_3 (1 - a_3) e_4 H_2 A_2$$

式中 A_i —电路的放大倍数($i = 1, 2$);

H_i —光电响应函数($i = 1, 2$);

e_i —各段光纤传输损耗系数($i = 1, 2, 3, 4$);

器 k_i —Y 分路器、X 型耦合器、Y 耦合器处的损耗系数($i = 1, 2, 3, 4, 5$);

a_i —分光系数($i = 1, 2, 3$).

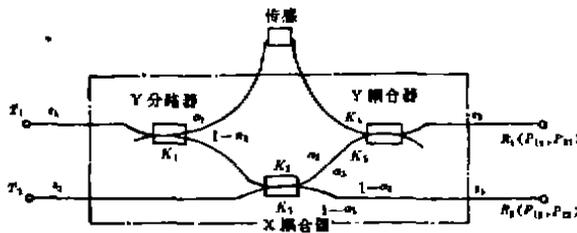


图 2 网络内部结构原理图



图 3 光纤补偿网络外形图

图 1 中光开关主要是为了识别出 $P_{11}, P_{22}, P_{12}, P_{21}$, 而仅用一光源识别出 $P_{11}, P_{22}, P_{12}, P_{21}$, 令:

$$E = (P_{11}P_{22}) / (P_{12}P_{21}) \quad (1)$$

即:

$$E = \frac{\alpha_1(1-\alpha_3)k_4}{(1-\alpha_1)(1-\alpha_2)\alpha_3k_2k_5} L_m + \frac{\alpha_2(1-\alpha_3)}{\alpha_3(1-\alpha_2)} \cong ALm + B \quad (2)$$

式中 A, B 为仅与网络内部结构参数有关的常数, 我们求得 E 值后, 再由式(2)即可得到传感信号 L_m , 这时求得的 L_m 仅与网络内部结构参数有关, 而与光源波动、光纤传输损耗、光电器件漂移、放大器件放大倍数变化等外界因素无关, 故采用网络后, 能大大提高强度调制光纤传感器稳定性, 具有很强的抑制外界干扰的能力。

在理想情况下, 网络的参数是不变的, 能达到上述补偿的目的, 然而在实际中, 网络一般都与传感器头做在一起, 所以网络就受环境的影响较大, 比如说温度、振动等, 这时网络的节点参数要发生漂移, 在文献[5]中我们已详细对网络结构的最优设计, 使其对环境影响造成参数漂移具有最强抑制作用, 在考虑其它的实际条件下, 我们取 $\alpha_1 = 0.8, \alpha_2 = 0.2, \alpha_3 = 0.8$ 作为网络结构的最佳分光系数^[5]。图 4 为几种不同的结构参数 $|\Delta L_m/L_m|$ 随分光比漂移 $|ds/s|$ 的变化情况。

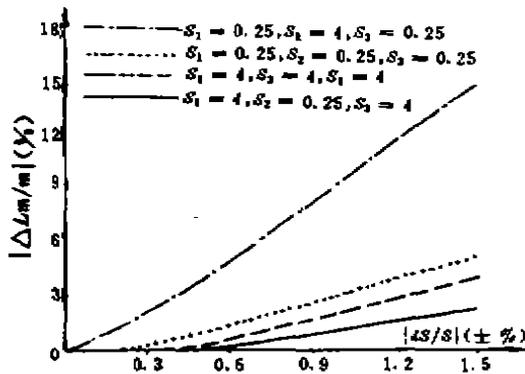


图 4 几种不同的结构参数 $|\Delta L_m/L_m|$ 随分光比漂移 $|ds/s|$ 的变化情况

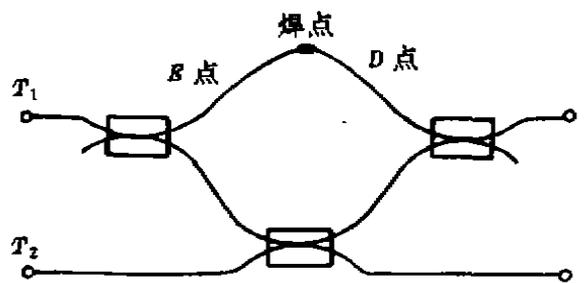


图 5 参数测定示意图

2 参数测定及网络实验

根据上面得到的最佳分光比,由于工艺条件限制,我们选用下面三个器件来构成补偿网络,在室温下(25℃)指标如下:

- 1) Y分路器一支 分光比 $S_1 = \alpha_1 : (1 - \alpha_1) = 3.183$; 损耗系数 $K_1 = 1.21$ dB;
- 2) X耦合器一支 分光比 $S_2 = \alpha_2 : (1 - \alpha_2) = 0.428$; 损耗系数 $K_2 = 1.51$ dB;
分光比 $S_3 = \alpha_3 : (1 - \alpha_3) = 3.508$; 损耗系数 $K_3 = 2.07$ dB;
- 3) Y耦合器一支 损耗系数 $K_4 = 2.75$ dB; 损耗系数 $K_5 = 2.75$ dB.

2.1 网络参数的标定

由上面(2)式知道, $E = AL_m + B$ 式中 A, B 为仅与网络内部结构参数有关的常数,虽然 Y分路器、X耦合器、Y耦合器在组成网络前可以测定参数,但组成网络后对光纤需要焊接,而焊点的损耗又不一样,所以对 A 和 B 需要进行标定.求 A 和 B 需要有两组 E, L_m 值就行了,当 $L_m = 0$,测 $E|_{L_m=0}$ 是最容易的,而另外一组的数据采用下面的方法得到.

我们先将光纤传感处焊接上,再从 T_2 和 T_1 端口输入测得:两路 P_{11}, P_{12} 和 P_{21} 和 P_{22} ,由(1)式求得 E 值;在从 T_1 输入,先断开 D 点测 P_D ,再断开 E 点测 P_E ,那么 $L_m = P_D/P_E$,这时 L_m 的值就是真值.

在实验时我们对光纤补偿网络内部参数进行标定,结果如表 1.

表 1 光纤补偿网络内部参数 A 和 B 标定的实验数据 μW

LD 工作电流 (mA)	P_D	P_E	L_m (无因次)	P_{11}	P_{12}	P_{21}	P_{22}	E 值 (无因次)
35			0	1.020	13.03	1.39	31.3	0.176
35	62.0	65.6	0.945	25.70	10.90	13.9	31.3	5.309

由上面求得, $A = 5.432$, $B = 0.176$, 即 E 和 L_m 的关系为: $L_m = 0.184(E - 0.176)$

2.2 节点参数受环境影响的实验

由(2)式知道, A, B 仅与 $k_2, k_4, k_5, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 有关,这里我们就研究这些网络节点参数在外界条件(温度、振动)变化下发生漂移的情况,进一步模拟得到的测量误差,对于研究网络在不同外界条件下的特性变化具有重要的意义.

表 2、表 3 就是各个网络组件节点参数在 WS308-05 型低温恒温恒湿箱和 Y5050/ZF 振动台的温度变化或振动的影响下的变化情况,在实际测量中,为了提高测量准确性,我们在光源光路中加上一个 Y 型耦合器,一路用于监测光源,一路用于实测.

从上面可以看出,节点参数受温度影响比受振动影响大得多,下面是模拟参数受温度影响下得到的 E 值(取 $L_m = 0.5$),得表 4,由表 4 可以进一步计算得到 $|\Delta L_m/L_m| = 2.59\%$.

2.3 网络的补偿实验

实验中我们用改变激光器的驱动电源的方法来模拟光源的波动,测得的数据如表 5.

表 2 网络节点参数在温度影响下的变化情况

$T/^\circ\text{C}$	S_1	S_2	S_3	k_2	k_4	k_5
-10	3.226	0.434	3.563	0.706	0.53788	0.4689
5	3.218	0.433	3.542	0.705	0.53737	0.4683
0	3.209	0.431	3.524	0.706	0.53859	0.4686
5	3.201	0.431	3.516	0.706	0.53751	0.4690
10	3.195	0.429	3.503	0.706	0.53674	0.4687
20	3.183	0.428	3.508	0.706	0.53629	0.4691
30	3.186	0.426	3.516	0.706	0.53583	0.4688
40	3.181	0.427	3.536	0.708	0.53430	0.4669
50	3.185	0.425	3.542	0.708	0.53538	0.4672
平均值	3.198	0.429	3.528	0.706	0.53665	0.4684
最大误差 (%)	± 0.703	± 1.049	± 0.850	± 0.212	± 0.400	± 0.0235

表 3 网络节点参数在振动影响下的变化情况(振幅 2mm)

$f/(H_z)$	S_1	S_2	S_3	k_2	k_4	k_5
0	3.216	0.427	3.508	0.706	0.53273	0.46845
10	3.215	0.427	3.503	0.706	0.53199	0.46810
20	3.220	0.426	3.507	0.705	0.53125	0.46805
30	3.220	0.427	3.505	0.705	0.53165	0.46800
40	3.221	0.426	3.508	0.705	0.53199	0.46840
平均值	3.2184	0.4266	3.5062	0.7054	0.53192	0.46820
最大误差 (%)	0.093	± 0.117	± 0.072	± 0.071	± 0.189	± 0.0048

表 4 测量结果随温度变化表

$T/^\circ\text{C}$	A	B	E	$T/^\circ\text{C}$	A	B	E
-10	1.0548	0.1218	1.1766	20	1.0491	0.1220	1.1712
-5	1.0592	0.1221	1.1813	30	1.0463	0.1213	1.1676
0	1.0624	0.1224	1.1847	40	1.0373	0.1207	1.1580
10	1.0568	0.1224	1.1791	50	1.0374	0.1201	1.1575

表5 不同激光驱动电流下 E 的变化 ($A = 5.432, B = 0.176, L_m = 0.945$) μW

LD 工作电流 (mA)	P_{11}	P_{12}	P_{21}	P_{22}	E 值 (无因次)	实测 L_m (无因次)	测量误差 (%)
20	2.52	1.10	1.55	3.63	5.365	0.950	0.54%
35	25.7	10.8	13.9	31.3	5.358	0.949	0.41%

上面表明当光源波动 8.8dB 时, 而测量误差仅为 0.54%, 故采用网络补偿能够有效补偿光源波动等因素对传感器的影响。

3 结 语

1) 本文研究的补偿网络结构简单, 实现起来容易。在网络参数不变的情况下, 能够有效地补偿光源波动、传输损耗变化、光电器件漂移、放大倍数的变化等几乎所有因素的影响, 大大提高光纤传感器抗干扰的能力。研究的受环境影响最小的最佳网络结构参数, 能提高了光纤传感器的稳定性。

2) 介绍了网络参数标定方法和通过对节点参数受温度、振动等因素影响的实验发现, 节点分光比随温度和振动的变化均比传输损耗大, 分光比的变化是网络的主要误差源, 因此, 选取合适的分光比组合作为网络结构参数, 使它们的变化对于网络测量精度的影响减至最小, 具有重要的意义, 这也就是网络优化设计的另一个理论依据; 对于温度和振动两种外界影响条件而言, 温度变化对网络节点参数的影响大得多, 因此振动的影响几乎可以忽略不计, 故使用网络时, 主要应注意环境温度对网络补偿精度影响, 当网络用于温度变化较大的环境时, 应注意重新标定参数加以修正。

3) 实验证明, 采用该补偿网络系统能有效地补偿光源强度变化等因素对测量结果的影响。当光源波动 8.8dB 时, 而测量误差仅为 0.54%。

实验工作得到了电子工业部 34 所光电分所索永跃工程师的帮助, 特表示感谢。

参 考 文 献

- 1 刘桂雄, 钟先信. 强度调制型光纤传感器信号补偿技术的现状及应用. 压电与声光, 1993, (2): 19~22
- 2 Culshaw B. A stable remote intensity based optical sensor. J. Phys. E: Sci. Instrum, 1985, (18): 502~504
- 3 Beheim G. Loss— compensation technique for fiber—optic sensors and its application to displacement measurements. Applied optics. 1987, (3): 452~455
- 4 Zhong Xianxin. Optical sensor for dust concentration measurement. Pro SPIE, 1987, 838: 285~287
- 5 钟先信, 刘桂雄. 一种新型光纤补偿网络及其优化设计. 光学精密工程. 1993, (3): 78~83