

Función de aberración y tolerancias para las aberraciones cromáticas: espectro secundario, esferocromatismo y aberración esférica zonal de 5o orden.

Martha Rosete-Aguilar^a y J.L.Rayces^b

^aLab. Optica Aplicada, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, U.N.A.M. Circuito Exterior, Cd. Universitaria, Apdo.Postal 70-186, México D.F. 04510, México.

^b5890 N. Placita Alberca, Tucson, AZ 85718-2925, U.S.A.

RESUMEN

Se presenta un estudio sobre corrección del espectro secundario [1-3]. Hemos propuesto una función de aberración de onda expresada en términos de tres aberraciones, espectro secundario, esferocromatismo y aberración esférica de 5o. orden. Estas dos últimas aberraciones compiten con el espectro secundario cuando se toma en cuenta la abertura numérica de la lente. Con esta función de aberración de onda se minimiza la función de error para obtener coeficientes que balancean las tres aberraciones y se establecen tolerancias en cada una de ellas, de tal manera que el diseñador óptico tiene una referencia para conocer si el par de vidrios seleccionados proporcionará una imagen limitada por difracción.

1. INTRODUCCIÓN

En un doblete acromático la aberración cromática primaria se corrige de tal manera que los extremos de longitudes de onda de una cierta banda espectral caen en el mismo foco axial y una longitud de onda intermedia cae en otro foco y a una distancia más cercana de la lente que cualquier otra longitud de onda dentro de esa banda espectral. A la diferencia axial entre estos dos focos se le conoce como espectro secundario. El problema de corregir el espectro secundario es un problema bien conocido y ha sido estudiado anteriormente [4-9]. Sin embargo, hasta ahora no se ha analizado la corrección del espectro secundario balanceándola con otras aberraciones y que además sea posible establecer condiciones de tolerancia que le den una referencia al diseñador óptico para conocer si el par de vidrios seleccionado proporcionará una imagen limitada por difracción.

2. FUNCIÓN DE ERROR PARA LAS ABERRACIONES DE ESPECTRO SECUNDARIO, ESFEROCROMATISMO Y ABERRACIÓN ESFÉRICA DE 5o. ORDEN.

El análisis que aquí se presenta está basado en la razón de la intensidad de Strehl. La razón de Strehl es la razón entre los picos de intensidades del disco de Airy para un sistema libre de aberraciones y el disco de Airy de un sistema con aberraciones. Esta razón está aproximadamente dada por:

$$SIR = 1 - \frac{4\pi^2}{\lambda^2} W_{rms}^2 \quad (1)$$

en donde W_{rms} es la raíz cuadrada media de la función de error, y la cual está dada por la raíz cuadrada de la media del cuadrado de la función de error, esto es:

$$W_{rms} = \sqrt{\overline{W^2}} \quad (2)$$

con

$$\overline{W^2} = \frac{\int_0^1 \int_0^{2\pi} [W(\rho, \vartheta)]^2 \rho d\rho d\vartheta}{\int_0^1 \int_0^{2\pi} \rho d\rho d\vartheta} \quad (3)$$

Restringiendo el análisis para las aberraciones esféricas hasta de sexto orden (ρ^6). Estas aberraciones son funciones del radio polar únicamente, y escribiendo la función de aberración de onda como un polinomio par tenemos:

$$P(\rho) = A_{00} + A_{20}\rho^2 + A_{40}\rho^4 + A_{60}\rho^6 \quad (4)$$

Integrando sobre el ángulo polar, la media del cuadrado de la función de error, ecuación (3), se vuelve:

$$\overline{W^2} = 2 \int_0^1 [P(\rho)]^2 \rho d\rho \quad (5)$$

3. TOLERANCIAS PARA LAS ABERRACIONES DE ESPECTRO SECUNDARIO, ESFEROCROMATISMO Y ABERRACIÓN ESFÉRICA ZONAL DE 5o. ORDEN.

Debemos modificar uno o más coeficientes del polinomio a fin de minimizar la raíz cuadrada media (la cual abreviaremos como rms) de la función de error, W_{rms} . Sea mW_{rms} la rms de la función de error minimizada. La modificación de estos coeficientes se hará de la siguiente forma:

- (1) El coeficiente A_{00} , esto es, la posición de la esfera de referencia compensará el espectro secundario.
- (2) Los coeficientes A_{20} y A_{00} , esto es, el radio y la posición del centro de referencia de la esfera compensarán el esferocromatismo.
- (3) Los coeficientes A_{40} , A_{20} y A_{00} , esto es, la aberración esférica de tercer orden, el radio y la posición del centro de referencia de la esfera compensarán la aberración esférica de quinto orden.

El polinomio de la función de error dado por la ecuación (4) consiste únicamente de los dos primeros términos si el sistema tiene únicamente espectro secundario. Se sustituye el polinomio de la función de error en la ecuación (5) se integra y posteriormente se deriva con respecto a A_{00} . El resultado se iguala a cero para encontrar el mínimo de la raíz cuadrada media de la función de error, W_{rms} . El resultado obtenido nos permite obtener una tolerancia para el espectro secundario dada por, $A_{20} \leq 2\sqrt{3}mW_{rms}$. El diseñador óptico define cual es la cantidad permitida para la raíz cuadrada de la media de la función de error, por ejemplo, si $mW_{rms} = \lambda/14$ entonces el valor del coeficiente no excederá el límite de Rayleigh, y el valor del coeficiente será igual a $A_{20} = 0.25\lambda$.

De igual forma se obtienen las tolerancias para el esferocromatismo y la aberración esférica zonal de 5o. orden, las cuales están dadas por: $A_{40} \leq 6\sqrt{5}mW_{rms}$ y $A_{60} \leq 20\sqrt{7}mW_{rms}$ respectivamente.

4. BIBLIOGRAFÍA.

1. J.L. Rayces and M. Rosete-Aguilar, "Differential equation for normal glass dispersion and evaluation of secondary spectrum", Applied Optics, Vol. 38, No. 10, pp.2028-2039, (1999).
2. J. L. Rayces and M. Rosete-Aguilar, "Selection of glasses for achromatic doublets with reduced secondary spectrum. I: Tolerance conditions for secondary spectrum, spherocromatism and fifth-order spherical aberration", Applied Optics, 40 (31), 5663-5676, (2001).
3. M. Rosete-Aguilar and J.L. Rayces, "Selection of glasses for achromatic doublets with reduced secondary spectrum. II. Application of the method for selecting pairs of glasses for aplanatic achromatic doublets", Applied Optics, 40 (31), 5677-5688, (2001).
4. P. N. Robb, "Selection of Optical Glasses: 1 Two material", Applied Optics, Vol. 24, No. 12, 15 June 1985, pp. 1864.
5. P.N. Robb and R. I. Mercado, "Calculation of Refractive Indices Using Buchdahl's Chromatic Coordinate", J. Opt. Soc. Am. Vol. 71, No. 1981, pp. 1639.
6. R. D. Siglet, "Glass selection for airspaced apochromats using the dispersion equation", Applied Optics, Vol. 25, No. 23, 1986, pp. 4311.
7. R. E. Stephens, "Four-color Achromats and superachromats", J. Opt. Soc. Am. 50, 1016, (1960).
8. M. Herzberger and N. R. McClure, "The Design of Superachromatic lenses"; Appl. Opt. 2, 553, (1963).
9. M. Herzberger, "Color correction in Optical Systems and a New dispersion formula", Opt. Acta 6, 197, (1959).