بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز،
شیراز، ایران.
۹-۱۱ بهمن ۱۳۹۷

تاثیر قدرت جفت شدگی بر رفتار نوری یک جفتگر ۳x۳

آمنه شفیعی[۱]، مهدی بهادران*[۱]، محسن حاتمی[۱]
[۱]دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز،شیراز
***نویسنده رابط: مهدی بهادران**

چکیده - در این مقاله به طور تئوری ویژگی های اتصال یک موجبر و دو میکرو حلقه در یک جفتگر۳×۳ مورد بررسی قرار می گیرد و به کمک تئوری مد جفت شده تابع انتقال نوری برای یک گرد زنشگر با جفتگر ۳×۳ بدست می آید. روش تحلیلی که ارایه دادیم برای امواج عبوری در اتصالات موجبری که به صورت خطی و دایره ای توزیع شده اند، مناسب است. اثرات ضریب جفت شدگی در طیف عبوری یک جفتگر ۳×۳، با جزییات مورد بررسی قرار داده ایم. همچنین با توجه به تابع انتقال اپتیکی یک جفتگر ۳×۳، نشان می دهیم انتقال نوری بر حسب طول موج را با تغییر توان جفت شدگی بین موجبر و میکرو حلقه ها میتوان تنظیم کرد.

کلیدواژه- گرد زنشگر، جفتگر۳×۳، تئوری مد جفت شده، جفتگر خطی، جفتگر دایره ای

Effect of Coupling Strength on the Light Behavior through a 3×3 Coupler

Amene Shafiee[1], Mahdi Bahadoran[2], Mohsen Hatami[3]

[1] Department of Physics, Shiraz University of Technology, 31371555, Shiraz, Fars, Iran A. A.shafiee@sutech.ac.ir
[2] Department of Physics, Shiraz University of Technology, 31371555, Shiraz, Fars, Iran bahadoran@sutech.ac.ir
[3] Department of Physics, Shiraz University of Technology, 31371555, Shiraz, Fars, Iran hatami@sutech.ac.ir

Abstract-We theoretically study the transmission characteristics of 3 × 3 optical coupler including a waveguide and two ring resonators using coupled mode theory. Our analytical approach is suitable for either linearly distributed couplers or circularly symmetric distributed coupler. Effect of coupling strength on the transmittance of a 3×3 coupler is investigated in detail. Based on optical transfer function of a 3×3 coupler, we show that the optical transmittance versus wavelength can be calibrated based on the coupling strengths of side couplers.

Keywords: coupled resonators; analytical solution; transmittance; coupled mode theory

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

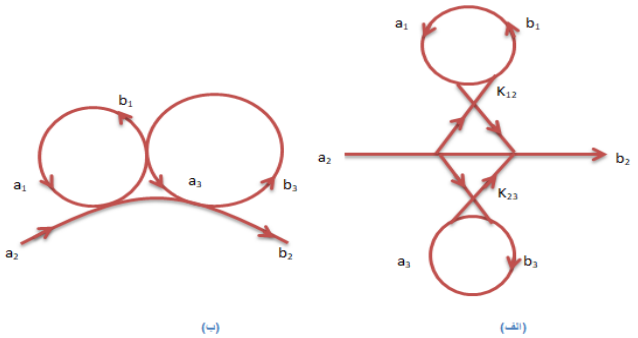
مقدمه

گرد زنشگرها دارای کاربردهای علمی مهمی در سیستم های ارتباط نوری هستند . بدست آوردن تابع تبدیل اپتیک در سیستم‌های اپتیکی و فوتونیکی از اهمیت ویژه‌ای بر خوردار است. تا کنون مطالعات زیادی بر روی محاسبه تابع انتقال نوری در سیستم‌های شامل جفتگرهای ۲×۲ انجام شده است [۱-۴] ولی مطالعه روی جفتگرهای ۳×۳ به‌علت پیچیدگی محاسباتی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۴ منگ و همکاران معادله‌ای ویژه مقداری بر اساس چند جمله‌ای چیبشف[1] برای جفتگر های ۳×۳ حل کردند که مناسب برای توزیع‌های خطی و دایره‌ای بود[۵]. محدودیت روش آنها این است که بایستی ضریب‌های جفت شدگی دو حلقه با هم برابر باشند. در سال ۲۰۰۷ توتسوکا و همکارانش ماتریس انتقال جفتگر ۲×۲ را برای شفافیت القاییده در نورکند بدست آوردند[۶].

در این مقاله ابتدا به کمک روش تئوری مد جفت شده به حل تحلیلی معادلات برای جفتگر ۳×۳ می پردازیم و سپس تابع انتقال اپتیکی را مورد بررسی قرار می دهیم.

تئوری مد جفت شده برای جفتگر ۳x۳

محل اتصال بین موجبرها را جفتگر می‌نامیم. مطابق شکل ۱ دو نوع جفتگر۳×۳ وجود دارد که ناحیه جفت شدگی بین موجبرها می‌توانند دارای توزیع خطی (شکل ۱-الف) یا دارای توزیع مثلثی/دایره‌ای (شکل۱-ب) باشند. برای سیستم‌های با توزیع خطی دو جفتگر قوی (K_{12}, K_{13}) و یک جفتگر بسیار ضعیف ($K_{13}=0$) و در سیستم‌های با توزیع دایره‌ای، سه ناحیه جفتگری مجزا با مقادیر مختلف (K_{12}, K_{13}, K_{23}) در نظر می‌گیریم.



شکل۱: پیکر بندی سیستمی شامل دو گرد زنشگر و یک موجبر دارای جفتگر ۳× ۳ با توزیع الف)خطی K13=0 ب)دایره ای K13≠0

مطابق شکل ۱-الف هنگامی که یک سیگنال نوری که از سمت چپ موجبر وارد سیستم می‌شود به دو قسمت تقسیم میشود. قسمتی از مسیر موج ورودی از جفتگر بالایی، K_{12} عبور کرده و به حلقه بالا می‌رسد و قسمتی نیز به کمک جفتگر پایین، K_{23} به حلقه پایین می‌رسد. موج ورودی در حلقه‌ها پس از یک دور چرخش اختلاف فازی به اندازه ζ_i پیدا خواهد کرد. در این مقاله، ابتدا یک حالت کلی را بررسی می‌کنیم که در آن ضریب جفت‌شدگی[2] بین موجبرها و میکروحلقه متفاوت باشد. با استفاده از تئوری حالت اتصال[3]، تغییرات دامنه میدان‌های موجبرهای موجود در جفتگر، a_i، توسط مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل به صورت زیر بدست می‌آید

$$\begin{pmatrix} 0 & iK_{12}k/2 & iK_{13}k/2 \\ ikK_{12}/2 & 0 & iK_{23}k/2 \\ ikK_{13}/2 & iK_{23}k/2 & 0 \end{pmatrix}\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} \partial a_1/\partial z \\ \partial a_2/\partial z \\ \partial a_3/\partial z \end{pmatrix} \quad (۱)$$

در اینجا k عدد موج و z تغییرات طول جفتگر می‌باشند. در حالت انتقال ضعیف[4] می توان فاز وابسته به زمان را حذف کرد و دامنه موج را به صورت زیر نشان داد:

(۲)

[1] chebyshev

[2] Coupling coefficient

[3] Coupled-mode theory

[4] Weak-guide approximation

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]

$$a_m = \varphi_m(x_i)e^{-i\beta Z}, m = 1,2,3$$

که φ_m تابعی از ویژه مقدار $x_i = \beta / k$ است و β ثابت انتشار است. با قرار دادن معادله (۱) در معادله (۲)، دستگاه معادلات به صورت همگن تبدیل می‌شود. با قرار دادن دترمینال ضرایب برابر با صفر داریم:

$$\begin{cases} (2x_i)^3 - p(2x_i) + q = 0 \\ p = K_{13}{}^2 + K_{23}{}^2 + K_{12}{}^2 \\ q = 2K_{12}K_{13}K_{23} \end{cases} \quad (۳)$$

با کمک رابطه $\varphi_1^2(x_i)+\varphi_1^2(x_i)+\varphi_3^2(x_i)=1$ ضریب بهنجارش بدست می‌آید. از آنجا که $\varphi_m(x_i), \tilde{\varphi}_n(x_i)$ مجموعه کاملی را تشکیل می‌دهند، برای بدست آوردن مقادیر ویژه x_1, x_2, x_3 لازم است معادله ویژه مقداری را حل کنیم. این معادله جوابی به صورت $\lambda_1 = \sqrt{\frac{-4p}{3}}\cos(\theta)$ خواهد داشت با توجه به این که موجبرها در سه راس مثلث متساوی‌الاضلاع قرار دارد، ویژه مقادیر دارای اختلاف $2\pi/3$ خواهند بود. با در نظر گرفتن $\lambda_i = -2x_i$ می توان ویژه مقادیر x_1, x_2, x_3 را به صورت زیر نوشت.

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{\sqrt{\frac{4p}{3}}\cos(\theta)}{2} \\ x_2 = \dfrac{\rho}{2}\left(\dfrac{+\cos(\theta)}{2} + \sqrt{\dfrac{3}{2}}\sin\theta\right) \\ x_3 = \dfrac{\rho}{2}\left(\dfrac{\cos(\theta)}{2} - \sqrt{\dfrac{3}{2}}\sin\theta\right) \end{cases} \quad (۴)$$

می‌توانیم با استفاده تعریف x_i و تعریف a_m و رابطه متعامد ماتریس زیر را تشکیل دهیم.

$$x(\tau) = \begin{pmatrix} \varphi_1(x_1)e^{-ix_1\tau} & \varphi_1(x_2)e^{-ix_2\tau} & \varphi_1(x_3)e^{-ix_3\tau} \\ \varphi_2(x_1)e^{-ix_1\tau} & \varphi_2(x_2)e^{-ix_2\tau} & \varphi_2(x_3)e^{-ix_3\tau} \\ \varphi_3(x_1)e^{-ix_1\tau} & \varphi_3(x_2)e^{-ix_2\tau} & \varphi_3(x_3)e^{-ix_3\tau} \end{pmatrix} \quad (۵)$$

در اینجا $\tau = kz$ نشان دهنده قدرت بر هم کنش بین موجبر و میکرو حلقه است. نقطه z=0 شروع ناحیه جفتگری و z=L نشاندهنده انتهای جفتگر است. پس اگر فرض کنیم ماتریس $R(\tau)$ ارتباط دهنده بین دامنه سیگنال‌های خروجی و دامنه سیگنال‌های ورودی باشد، در نقطه انتهایی جفتگر ماتریس تبدیل به صورت زیر خواهد بود.

$$R(\tau) = x(\tau)x^{-1}(0) \quad (۶)$$

پیکر بندی خطی و دایره ای متقارن:

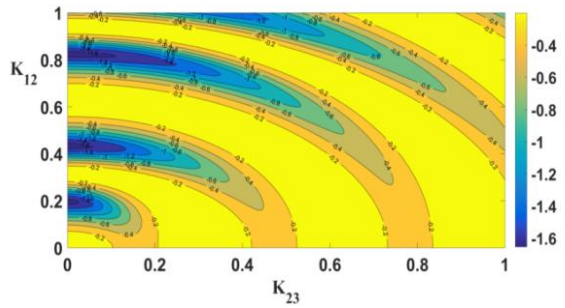
از آنجاکه در پیکر بندی خطی $K_{13}=0$ است، با کمک روابط بالا ماتریس تبدیل برای جفتگر۳x۳ با توزیع خطی به صورت زیر بدست می آید از تعریف اختلاف فاز ایجاد شده در گرد زنشگرها($a_3 = \xi_3 b_3$ و $a_1 = \xi b_1$) نسبت دامنه میدان خروجی به ورودی به شکل زیر خواهد بود

$$T = \frac{A-(K_{23}^2A+K_{12}^2)\frac{\zeta_1}{p}-(K_{12}^2A+K_{23}^2)\frac{\zeta_3}{p}+\zeta_1\zeta_3}{1-(K_{12}^2A+K_{23}^2)\frac{\zeta_1}{p}-(K_{23}^2A+K_{12}^2)\frac{\zeta_3}{p}+A\zeta_1\zeta_3} \quad (۷)$$

که در آن $A = \cos(0.5\tau\sqrt{p})$ است.

شبیه سازی

در اینجا برای گرد زنشگرهای شکل۱-الف، موجبری از جنس $Geo-Sio_2$ با ضریب شکست گروه $n_g = 1.46$ [۷] بکار می بریم. شعاع گرد زنشگر بالا $R_1 = 99.1\mu m$، عدد مد زنشگر بالا $N_1 = 3$ ، ضریب جذب خطی موجبر $\alpha = 10dB/m$،فاز $\tau/2 = 10$، و شعاع گرد زنشگر پایین $R_3 = 26.2\mu m$، عدد مد زنشگر پایین، $N_3 = 2$ می باشند. در شکل ۲ ، نمودار انتقال نوری برای میزان جفت شدگی متغیر از صفر تا ۱۰۰ درصد رسم شده است. نمودار برای میزان مختلف جفت شدگی دارای افت و خیز های زیادی است. مختصات ۶ نقطه را به طور تصادفی از نمودار شکل۲ انتخاب شد به گونه ای که مختصات ۲ نقطه در کمترین ،۲ نقطه در میانگین و۲ نقطه در بیشترین مقدار انتقال نوری از سیستم شکل ۱-الف باشد.



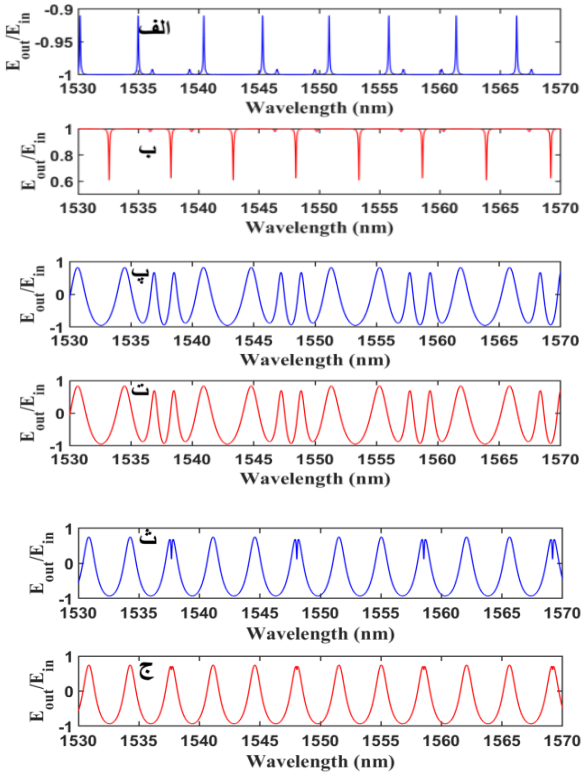
شکل ۲: نمودار عبور ازجفتگر ۳×۳ خطی بر حسب دو جفتگر , K12 K23

با در نظر گرفتن این مقادیر K_{12} و K_{23} نسبت میدانهای عبوری به ورودی در جفتگر ۳×۳ خطی بر حسب طول موج در شکل ۳ شبیه سازی شده اند که کمترین مقادیر جفتگری در

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]

شکلهای۳-الف/ب ، مقادیر میانگین جفتگری در شکلهای۳-پ/ت و مقادیر بیشینه جفتگری در شکلهای۳-ث/ج رسم شده اند.



شکل۳.نمودار نسبت میدانهای خروجی به ورودی در یک جفتگر جفتگر ۳×۳ خطی بر حسب طول موج با مقادیر جفتگری الف) K23=0.29;K12=0.1 ب) K23=0.59;K12=0.2 پ) K23=0.29;K12=0.1 ت) K23=0.615;K12=0.885 ث) K23=0.015;K12=0.19 ج) K23=0.25;K12=0.82

نتایج نشان می‌دهد میزان عبور به شدت تابع میزان جفت شدگی در جفتگرهای بالا و پایین می‌باشدو تغییر درصد جفت شدگی باعث تغییر مکان قله تشدید در خروجی سیستم می-شود.همچنین به کمک ایجاد تغییر در قدرت جفتگرها و یافتن نسبت K_{23} و K_{13} می‌توان خروجی سیستم را کالیبره کرد.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های اتصال یک جفتگر۳×۳ به کمک تئوری مد جفت شده مورد بررسی قرار گرفت و تابع انتقال نوری برای یک گرد زنشگر بدست آمد. نشان دادیم با توجه به تابع انتقال اپتیکی بدست آمده می‌توان نسبت میدانهای ورودی به خروجی و مکان قله های تشدید در طیف طول موجی را با تغییر توان جفت شدگی بین موجبر و میکرو حلقه‌ها کنترل کرد.

مرجع‌ها

[۱] Sanchez, F., Optical bistability in a 2× 2 coupler fiber ring resonator: parametric formulation. Optics communications, 1997. 142(4-6): p. 211-214.

[۲] Smith, L., L. Tenerz, and B. Hok. *Silicon micromachined (2x2) opto coupler*. in *Optical Interconnections and Networks*. 1990. International Society for Optics and Photonics.

[۳] Shoaib, M., M. Younus, and M. Shakeel. A comparative study on the effect of geometrical parameters on characteristics of 2× 2 Single Mode coupler. in Applied Sciences and Technology)IBCAST), 2017 14th International Bhurban Conference on. 2017. IEEE.

[۴] Dumais, P., et al. 2x2 multimode interference coupler with low loss using 248 nm photolithography. in Optical Fiber Communication Conference. 2016. Optical Society of America.

[۵] Meng, Y.-C., et al., Analytical solutions of coupled-mode equations for multiwaveguide systems, obtained by use of Chebyshev and generalized Chebyshev polynomials. JOSA A, 2004. 21(8): p. 1518-1528.

[۶] Totsuka, K., N. Kobayashi, and M. Tomita, *Slow light in coupled-resonator-induced transparency*. Physical review letters, 2007. 98(21): p. 213904.

[۷] Oda, K., N. Takato, and H. Toba, *A wide-FSR waveguide double-ring resonator for optical FDM transmission systems*. Lightwave Technology, Journal of, 1991. 9(6): p. 728-736.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-07-28]