



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

شبیه سازی نويز ASE در سيستم های تقويت Raman

چکیده

(در این مقاله) روشی برای تولید نويز غیرسفید ارائه شده است. با استفاده از این روش مدلی ارائه می شود که به طور دقیق نويز انتشاری به طور خودبه خودی تقویت شده را در سیستم هایی با گین Raman توزیع شده، توصیف می کند. شبیه سازی های عددی ناشی از طیف توان نويز انتشاری به طور خودبه خودی تقویت شده با نتایج آزمایشگاهی تایید می شوند.

مقدمه

در سال های اخیر، ظرفیت شبکه های انتقال مخابراتی به طور پیوسته افزایش داده شده است. این (کار) توسط افزایش دادن نرخ بیت بر کانال و به وسیله افزایش دادن تعداد کانال های نوری بر فیبر بدست آورده می شود. تقویت کننده های نوری باند وسیع به منظور پشتیبانی از این نوع سیستم ها نیازمند می باشد. در این متن تقویت Raman وقتی که با راه حل های تقویت نوری دیگر مقایسه می شود برخی ویژگی های جالب را ارائه می دهد.

تقویت نوری به خاطر انتشار خود به خودی تقویت شده (ASE)، منبع ذاتی نويز می باشد. این نويز پیامدهای مستقیم و متعددی را بر روی عملکرد سیستم های ارتباطی نوری دارند: (یعنی این که) آن نرخ سیگنال به نويز را کاهش می دهد و جیتر زمانی (همراه ناخوشایندی از همه سیستم های الکترونیکی است که از انتقال ولتاژ برای نشان دادن اطلاعات زمانی استفاده می کند) و تغییرات فرکانسی را ایجاد می کند. بنابراین برای ارزیابی سیستم های مخابراتی فیبر نوری، تعریف دقیقی از نويز ASE مهم می باشد.

در حالت کلی شبیه سازی، آنالیز، طراحی و بهینه سازی سیستم های تقویت Raman نوری از طریق حل سیستم معادلات دیفرانسیلی کوپل شده برای توان های متوسطی از سیگنال ها و پمپ های شامل شده، انجام شده است. با این وجود حتی برای میدان هایی با شدت متوسط، تاثیر Kerr بایستی به منظور به حساب آوردن پاسخ فیبر غیر خطی در نظر گرفته شود. هم چنین این نیازمند حل معادلات شرودینگر غیر خطی کوپل شده (NLSEs) برای میدان های استوکس و پمپ می باشد. مدل کردن پراکنده کننده Raman خود به خودی می تواند با وارد کردن روابط نويز Langerin درون معادلات موج انجام شود. Agrawal و Headly نشان داده اند که این تاثیر می تواند با مشمول کردن روابط نويز در درون پلاریزاسیون غیر خطی مرتبه سوم در نظر گرفته شود. روش های دیگر می تواند برای شامل کردن نويز نوری استفاده شود. به طور مثال Marcause مسائلی که نويز ASE را در انتهای هر بخش تقویت کننده نوری اضافه می کنند را مطالعه کرده است. بعد از تقویت، متغیرهای تصادفی گوسی به هر بخش اضافه می شود. هم چنین در این روش ها فعل و انفعالات نويز به سیگنال و نويز غیر خطی به شکل دادن نويز در درون تقویت کننده نادیده گرفته می شود.

در این کار ما روشی را برای تولید نويز به طور فرکانسی شکل گرفته، ارائه می کنیم و با استفاده از این روش ما نويز ASE که توسط پراکنده کننده Raman خود به خودی، در سیستم های باند وسیع القا می شود را آنالیز می کنیم.

NLSE کلی از طریق روش فوریه گام به گام (SSFM) مشهور با رابطه نویز سفید اضافه شده برای نمایه گین، حل می شود. شبیه سازی های عددی از مدل نویز ASE ما، با نتایج آزمایشگاهی تایید می شود.

این مقاله از چهار بخش تشکیل می شود. در بخش دوم ما روش را برای تولید نویز غیر سفید ارائه کردیم که در مدل ارائه شده برای شبیه سازی نویز نوری که از تقویت کننده Raman در فیبرهای نوری سرچشمه گرفته می شود، استفاده می شود. پس از آن در بخش سوم این مدل نویز نوری را به طور آزمایشگاهی معتبر می سازیم. در بخش چهارم نتیجه گیری های اصلی ارائه می شود.

مدل کردن ASE

A. معادله موج

با در نظر گرفتن ساده ترین طرح تقویت Raman در فیبرهای نوری بر پایه سیگنال سیگنال و پمپ سیگنال به ترتیب با فرکانس های ω_s و ω_p ، تحول میدان نوری $A_s(z, t)$ که سیگنال و نویز را شامل می کند، می تواند توسط معادله زیر توصیف شود.

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_s(z, t)}{\partial z} = & \left(-i \frac{\beta_2}{2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{1}{2} \alpha_s \right) A_s(z, t) \\ & + i\gamma [|A_s(z, t)|^2 + (2 - f_R) P_p(z)] A_s(z, t) \\ & + i\gamma f_R P_p(z) \int_{-\infty}^{+\infty} h_R(t - t') A_s(t', z) \exp(-i\Omega_R(t - t')) dt' \\ & + f_n(z, t), \end{aligned} \quad (1)$$

در آن α_s تلف فیبر در فرکانس ω ، $|A_s(z, t)|^2$ توان میدان، $\beta_2 = \partial^2 \beta / \partial \omega^2$ ضریب انتشار سرعت گروه، $P_p(z)$ توان متوسط پمپ، γ ضریب غیر خطی، f_R کسری از غیر خطیت برآمده از پاسخ Raman تاخیر یافته، Ω_R فرکانس ارتعاشی ملکول ها که فرض می شود که در پیک منحنی گین Raman باشد، $h_R(t)$ تابع پاسخ Raman و $F_n(z, t)$ منبع نویز Langerin می باشند. بخش خطی رابطه (1) تلفات فیبر و پراکندگی را شامل می کند در حالی که بخش غیر خطی برای مدلاسیون خود فازی سیگنال، مدلاسیون فاز متقابل و پراکندگی Raman به حساب آورده می شود. توجه کنید که گین Raman یعنی $g_R(\Omega)$ متناسب با بخش موهومی تابع پاسخ Raman می باشد. و به صورت $g_R(\Omega) = 2f_R\gamma \text{Im}[\tilde{h}(\Omega)]$ تعریف می شود که در آن $\Omega = \omega_p - \omega$ و $\tilde{h}_R(\Omega)$ تبدیل فوریه $h_R(t)$ و $\text{Im}[\]$ نیز بیان کننده بخش موهومی می باشد. آخرین عبارت در رابطه (1) یعنی $f_n(z, t)$ به طور ریاضی وار نشان می دهد نویزی را که به طور پیوسته از طریق پراکندگی خود به خودی اضافه می شود.

این نویز که با فرآیندهای پراکندگی Raman خود به خودی مرتبط می باشد معمولا به عنوان فرآیند نویز سفید با توزیع گوسی مدل می شود. با استفاده از این تقریب این نویز که با $f_n(z, t)$ نشان داده می شود، میانگین آن صفر می شود یعنی $\langle f_n(z, t) \rangle = 0$ و تابع خود همبستگی (اتوکورلیشن) آن به صورت زیر داده می شود.

$$\langle f_n(z, t) f_n^*(z', t') \rangle = n_{sp} \hbar \omega_0 g_R(\Omega_0) P_p(z) \delta(z - z') \delta(t - t'), \quad (2)$$

در رابطه بالا ω_0 فرکانس مرکزی، $\hbar \omega_0$ متوسط انرژی فوتونی، $\Omega_0 = \omega_p - \omega_0$ نشان دهنده تغییرات Raman یعنی اختلاف بین فرکانس های مرکزی و پمپ می باشد و n_{sp} ضریب پراکندگی خودی است که به صورت زیر تعریف می شود.

$$n_{sp}(\Omega_0) = \frac{1}{1 - \exp\left(\frac{-\hbar \Omega_0}{k_B T}\right)}, \quad (3)$$

در رابطه بالا k_B ثابت بولتزمن و T دمای کلی از فیبر است. تابع دلتا در رابطه (2) بیان می کند که در زمان ها و موقعیت های مختلف رویدادهای نویزی مستقل اتفاق می افتد.

B. شبیه سازی ASE با استفاده از روش فوریه گام به گام

بدون عبارت نویز، معادله (1) می تواند به صورت های عددی با استفاده از SSFM حل شود که در آن نیازمند تقسیم کردن فیبر به تکه های کوچک می باشد. برای هر تکه با فرض این که تاثیرات خطی و غیر خطی به طور مستقل عمل می کند، راه حل تقریب زده ای محاسبه می شود. بنابراین در شرایط انتشار بدون نویز ما می توان به صورت زیر نوشت.

$$\frac{\partial A_s(z, t)}{\partial z} = \left(\hat{D} + \hat{N} \right) A_s(z, t), \quad (4)$$

در رابطه بالا \hat{D} و \hat{N} به ترتیب اپراتورهای خطی و غیر خطی می باشند. با فرض این که $A_s(z, t)$ زمانی که با مقیاس زمان پاسخ Raman مقایسه می شود، کم تغییر می کند و در نزدیکی پیک گین بخش حقیقی از $\tilde{h}_R(\Omega)$ را صفر می کند بنابراین عبارت شامل انتگرال در (1) می تواند به صورت $1/2 g_R(\Omega) P_p A_s$ نوشته شود. بنابراین از آنجایی که بخش خطی در رابطه (1) در حوزه فرکانس حل می شود، ما می توانیم عبارت گین Raman را

در \hat{D} قرار دهیم. که در این روش وابستگی فرکانسی گین بدست می آید. عبارت پراکندگی از رابطه (1) می تواند در حوزه فرکانس با جایگذاری $-i\omega$ به جای $\partial/\partial t$ نوشته شود. بنابراین اپراتور \hat{D} به صورت زیر می باشد.

$$\hat{D}(\omega, z) = i\frac{\beta_2}{2}\omega^2 + \frac{1}{2}g_R(\Omega)P_P(z) - \frac{1}{2}\alpha_s. \quad (5)$$

اپراتور \hat{N} هم به صورت زیر داده می شود.

$$\hat{N}(t, z) = i\gamma [|A_s(z, t)|^2 + (2 - f_R)P_P(z)], \quad (6)$$

و در حوزه زمان عمل می کند. با فرض کردن گام Δz ، میدان نوری در موقعیت $z + \Delta z$ می تواند به صورت زیر تقریب زده شود.

$$A_s(z + \Delta z, t) \cong \exp\left(\frac{\Delta z}{2}\hat{D}\right) \times \exp\left[\int_z^{z+\Delta z} \hat{N}(z')dz'\right] \exp\left(\frac{\Delta z}{2}\hat{D}\right)A_s(z, t). \quad (7)$$

این راه حل تقریب مرتبه دوم می باشد و همچنین SSFM متقارن شده نامیده می شود و دارای تناسب خطایی با Δz^3 می باشد.

به منظور وارد کردن عبارت نویز، ما نویز را به طور گسسته به میدان اضافه می کنیم. معنی آن این است که این نویزی که به طور پیوسته در طول فیبر واقعی ایجاد می شود، به وسیله مقدار مشخصی از نویز که به میدان در هر گام از SSFM اضافه می شود تقریب زده می شود. این تقریب به شرطی که گام Δz کوچک باشد منطقی می باشد. برای گام های کوچک انتگرال موجود در رابطه (7) می تواند همچنین با $\exp(\Delta z \hat{N})$ تقریب زده شود. با استفاده از این روش ها میدان نوری کلی در موقعیت $z + \Delta z$ به صورت زیر نوشته می شود.

$$A_s(z + \Delta z, t) \cong \exp\left(\frac{\Delta z}{2}\hat{D}\right) \times \exp(\Delta z \hat{N}) \exp\left(\frac{\Delta z}{2}\hat{D}\right)A_s(z, t) + f(z, t). \quad (8)$$

همچنین وارد کردن عبارت نویز در (8) بازدهی محاسباتی SSFM را کاهش می دهد. این به دلیل این است که رابطه (8) به صورت تکراری اعمال می شود و عملگر $\exp\left(\frac{\Delta z}{2}\hat{D}\right)$ به صورت متوالی ظاهر نمی شود. بنابراین اپراتور

\hat{N} می تواند روی کل گام اعمال شود. به منظور سریع تر کردن این روش، موقعیتی که در آن نویز وارد می شود تغییر داده می شود. (یعنی این که) ما (ابتدا) با اعمال اپراتور \hat{D} بر روی $A_s(z, t)$ بر روی فاصله $\Delta z/2$ شروع می کنیم بعد اپراتور \hat{N} روی کل طول تکه Δz اعمال می کنیم و قبل از اعمال کردن گین اپراتور \hat{D} ، ما به نویز ASE، $f_n(z, t)$ را اضافه می کنیم. در نهایت معادله (8) به صورت زیر نوشته می شود.

$$A_s(z + \Delta z, t) \cong \exp\left(\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right) \times \left[\exp(\Delta z \hat{N}) \exp\left(\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right) A_s(z, t) + f_n(z, t) \right]. \quad (9)$$

توجه کنید که اگر رابطه (9) به صورت تکراری اعمال شود، دو عملگر متوالی $\exp\left(\frac{\Delta z}{2} \hat{D}\right)$ می تواند حالا به سادگی با عملگر تنها $\exp(\Delta z \hat{D})$ جایگزین شود. با این روش ما قادر خواهیم بود تا بدون کاهش بازدهی عددی SSFM، عبارت نویز را درون SSFM قرار دهیم.

C. تولید نویز غیر سفید

هر رویداد انتشار خود به خودی می تواند به صورت مستقل در نظر گرفته شود بنابراین $f_n(z, t)$ می تواند به عنوان فرآیند اتفاقی گوسی سفید در نظر گرفته شود. یعنی اینکه هر دو مولفه حقیقی و موهومی میدان، متغیرهای تصادفی گوسی با واریانس داده شده در (2) می باشند. این مدل زمانی که پهنای باند شبیه سازی در مقایسه با پهنای باند تقویت کننده کوچک باشد کاملاً مناسب می باشد. توجه کنید که این تقریب، وابستگی فرکانسی $gR(\Omega)$ را نادیده می گیرد چون تابع دلتا $\delta(t - t')$ در رابطه (2) به طیفی صاف روی همه پهنای باند در نظر گرفته شده اشاره می کند. با این وجود اگر $gR(\Omega)$ وابسته به فرکانس در نظر گرفته شود بنابراین $f_n(z, t)$ نمی تواند به عنوان فرآیند نویزی گوسی سفید در نظر تعریف شود. در حقیقت این ملاحظات به خاطر شبیه سازی پهنای باند وسیع می باشد جایی که در آن سیگنال های متعدد در فرکانس های مختلف آنالیز می شوند.

این نویز اضافه شده در هر گام وابسته به z می باشد، به خاطر وابستگی به توان پمپ $P_p(z)$ و در هر موقعیت آن به خاطر وابستگی نمایه گین $gR(\Omega)$ به طور فرکانسی شکل گرفته می شود. در روش ما، تولید این نوع از نویز از سه مرحله پیروی می کند.

(1) ما به وسیله تولید کردن توزیع گوسی سفید از نقاط، $f_n^w(z, t)$ با متوسط صفر $\langle f_n(z, t) \rangle = 0$ ، و واریانس داده شده در (2) (بالا نویس نشان دهنده نویز سفید است) شروع می کنیم. با فرض کردن پهنای باند کوچک و گام کوچک، واریانس از رابطه زیر بدست آورده می شود.

$$\sigma_0^2(z) = n_{sp}(\Omega_0) \hbar \omega_0 g_R(\Omega_0) P_p(z) \Delta z B_{op}, \quad (10)$$

در رابطه بالا $g_R(\Omega_0)$ گین Raman در فرکانس مرکزی ω_0 ، Δz گام استفاده شده در SSFM و B_{op} پهنای باند نوری از شبیه سازی ما می باشد.

(2) در مرحله دوم به منظور بدست آوردن طیف توزیع قبلا تولید شده، ما تبدیل فوریه f_n^w را انجام می دهیم.

$$\tilde{f}^w(z, \omega) = F_T\{f_n^w(z, t)\}, \quad (11)$$

در رابطه فوق $F_T\{\}$ عملگر تبدیل فوریه می باشد. در این نقطه، طیف بدست آمده در پهنای باند در نظر گرفته شده صاف می باشد. بعد از آن، این طیف به منظور بدست آوردن نمایه طیفی مطلوب یعنی $g_R(\Omega)$ با $\sigma_N(z, \omega)$ ضرب می شود.

$$\tilde{f}_n^{nw}(z, \omega) = \sigma_N(z, \omega) \tilde{f}_n^w(z, \omega)$$

که در آن $\sigma_N(z, \omega)$ (انحراف معیار استاندارد نرمالیزه شده) فقط نرخ بین واریانس های محاسبه شده در فرکانس ω و فرکانس مرکزی ω_0 می باشد.

$$\sigma_N^2(z, \omega) = \frac{n_{sp}(\Omega) \hbar \omega g_R(\Omega) P_p(z) \Delta z B_{op}}{\sigma_0^2} \quad (13)$$

$$= \frac{n_{sp}(\Omega)}{n_{sp}(\Omega_0)} \frac{\omega g_R(\Omega)}{\omega_0 g_R(\Omega_0)}. \quad (14)$$

در رابطه (12) n^w نشان دهنده نویز غیر سفید می باشد.

(3) سرانجام در مرحله تبدیل فوریه معکوس گرفته می شود و نویز غیر سفید $f_n^{nw}(z, t)$ در حوزه زمان بدست آورده می شود.

$$f_n^{nw}(z, t) = F_T^{-1}\{\tilde{f}_n^{nw}(z, \omega)\}, \quad (15)$$

در رابطه بالا $F_T^{-1}\{\}$ نشان دهنده عملگر تبدیل فوریه معکوس می باشد.

این روش نویز غیر سفید ارائه شده در بالا تنها "رنگ" نویز را می دهد. یعنی اینکه نویز رنگی در رابطه (15) بایستی توزیع اولیه یعنی توزیع گوسی را نشان دهد. از طرف دیگر تغییرات در شکل طیفی، گستردگی را در تابع خودهمبستگی (اتوکرولیشن) ایجاد می کند و بنابراین رابطه (2) دیگر تایید نمی شود.

شکل 1 تابع خودهمبستگی (اتوکرولیشن) برای گروهی از نمونه های نویزی تولید شده به وسیله این روش را نشان می دهد. تابع خودهمبستگی (اتوکرولیشن) از توزیع نویز سفید نرمال همچنین در همان شکل نشان داده می شود. مقایسه بین دو منحنی، تابع خودهمبستگی (اتوکرولیشن) وسیع تری را از نویز رنگی نشان می دهد. که همبستگی (کرولیشن) افزایش یافته ای را بین نمونه هایی از چنین توزیعی را نشان می دهد.

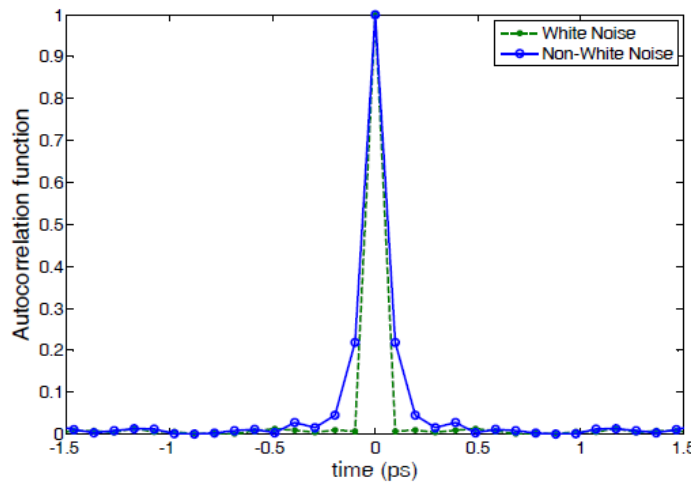


Fig. 1. Autocorrelation function for a white (dashed line) and non-white noise (solid line) distributions. The colored noise presents a broader autocorrelation function, which indicates an increased correlation between samples of such distribution. The sample period used in the simulations was 0.1 ps.

اعتبار سنجی آزمایشگاهی

به منظور اعتبار بخشیدن به مدلمان، مقایسه ای بین نتایج شبیه سازی شده و آزمایشگاهی انجام می شود. این شبیه سازی از نویز ASE بر دقت عددی رابطه (1) که از SSFM اصلاح شده و روش نویز غیر سفید ارائه شده در بخش دوم استفاده می کند، بنا شده است. پارامترهای استفاده شده در شبیه سازی به صورت زیر می باشد. طول فیبر برابر با 40 Km و اندازه گام های شبیه سازی برابر با 80m، ضریب غیر خطی $w^{-1}km^{-1}$ 1.5، انتشار سرعت گروهی $-21.4 \frac{ps^2}{km}$ ، تلفات فیبر $0.23 \frac{db}{km}$ ، f_R برابر با 0.18 می باشند.

ما برای $g_R(\Omega)$ منحنی را استفاده کرده ایم که نتیجه گرفته می شود از تناسب 14 منحنی گوسی برای مقدار گین Raman آزمایشگاهی که از طریق اندازه گیری روشن/خاموش با استفاده از تنظیمات آزمایشگاهی کشیده شده در شکل 2 که از روش ارائه شده در [9] و [14] پیروی می کند. شبیه سازی ما حول ماکزیمم گین منحنی و $A_s(z=0, t) = 0$ و $P_p(z=0, t) = 203 \text{ mW}$ متمرکز شده است.

چگالی طیفی توان نویز ASE از سیگنال خروجی در فیبر بدست آورده می شود.

$$S(\omega) = \frac{\tilde{A}_s(\omega)\tilde{A}_s^*(\omega)}{T_W}, \quad (16)$$

که در آن $\tilde{A}_s(\omega)$ تبدیل فوریه سیگنال خروجی $A_s(t)$ است و T_W پنجره زمانی می باشد که در شبیه سازی 12.8ns نظر گرفته می شود. منحنی توان نویز ASE در فیلتر ایده آل با پهنای باند مساوی با 15GHz بدست آورده می شود و در شکل 3 با خط پیوسته نشان داده می شود، شامل پمپ لیزر نیمه هادی، فیبر تک مد 40km (SMF) و تحلیلگر طیف نوری (OSA) که به طور شماتیکی در شکل 2 نشان داده شده است می باشد. پمپ لیزر در 1470nm متمرکز می شود و در جهت مستقیم با توان ورودی 203mw منتشر می شود. نویز ASE در انتهای فیبر در OSA آنالیز می شود و طیف توان آن در شکل 3 به صورت دایره نشان داده می شود. مقایسه بین داده های کشیده شده در شکل 3، توافق خوبی را بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی شده را برای نویز ASE نشان می دهد. این توافق رنجی تقریباً 70nm از طیف یعنی همه پهنای باند شبیه سازی شده را می پوشاند که با ما اجازه می دهد که تا این مدل را معتبر کند. از آنجایی که این مدل ارائه شده در این مقاله برای فعل وانفعالات بین سیگنال و نویز ASE که به وسیله غیر خطیت فیبر در میان واقع شده است به حساب می آید، که آن می تواند به طور مثال برای ارزیابی تغییرات بر روی توزیع نویز ASE که توسط تقویت Raman در سیستم های فیبرنوری سرچشمه می گیرد، می تواند استفاده شود.

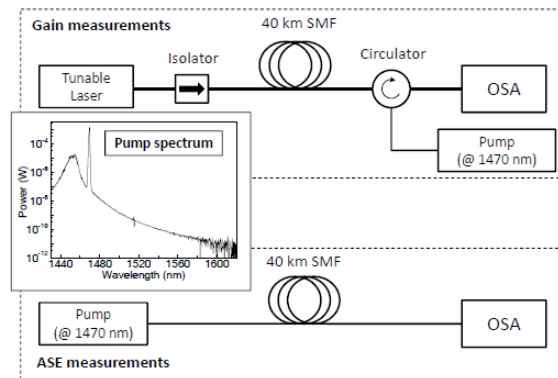


Fig. 2. Experimental setup used to perform the Raman gain coefficient and ASE noise measurements. The inset shows the spectrum of the pump laser used in the setup.

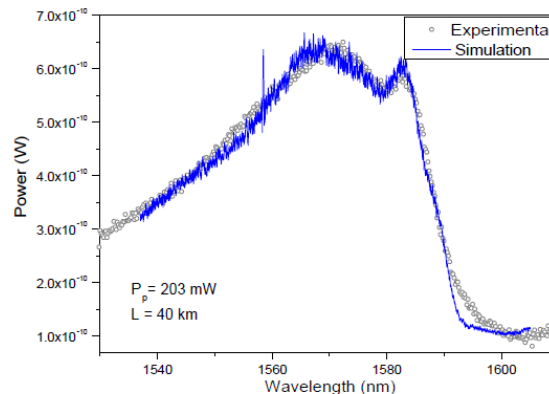


Fig. 3. Experimental and simulated ASE power spectra for a fiber length equal to 40 km and input pump power equal to 203 mW . The Raman pump was centered at 1470 nm and propagated in the forward direction.

نتیجه گیری

ما در این مقاله روشی را برای تولید نویز غیر سفید ارائه کرده ایم که نمایه گین *Raman* فرکانسی به حساب می آید. با استفاده از این روش، عبارت نویز غیر سفید به *NLSE* و مدل عددی اضافه می شود که به طور دقیق نویز *ASE* را در سیستم های فیبر نوری با تقویت *Raman* توزیع شده توصیف می شود. نتایج عددی طیف توان نویز *ASE*، به وسیله نتایج به طور آزمایشگاهی بدست آمده اعتبار بخشیده می شود.



این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی