

بررسی محل خطا در خط انتقال با استفاده از تبدیل S

چکیده- هدف این مقاله ارائه یک الگوریتم مکان یابی خطا بر اساس روش تبدیل S در خط انتقال است. هنگامی که یک خطا در خط انتقال رخ می دهد، نقطه خطا باعث ایجاد امواج در حال حرکت به دو طرف شینه می شود. کلید مکان یابی خطا بر اساس امواج در حال حرکت، تشخیص دقیق جبهه موج است. تبدیل S می تواند به طور مستقل مشخصه تغییر دامنه سیگنال را در طول زمان در هر جزء فرکانس تجزیه و تحلیل کند تا به طور دقیق زمان جهش سیگنال را تشخیص دهد و مکان جبهه موج را تعیین کند. شبیه سازی ها در EMTP/MATLAB انجام شده است. در مقایسه با روش موجود تشخیص راس موج تبدیل موجک، مزایای آشکاری دارد. نتایج نشان می دهد که روش مکان یابی خطای پیشنهادی مؤثر و دقیق است.

کلمات کلیدی-محل خطا-تشخیص جبهه موج-S تبدیل-تبدیل موجک-EMTP

۱- مقدمه

به طور عمده دو نوع روش مکان یابی خطا در خط انتقال وجود دارد، یعنی روش امپدانس و روش موج گذرا. روش موج گذرا از طریق اندازه گیری زمان سیگنال خطا به ترمینال اندازه گیری است تا محل خطا را در هنگام وقوع خطا شناسایی کند. نوع خطا و مقاومت انتقال که برتری آن در تئوری است، تحت تأثیر ساختار مدار قرار نمی گیرد. مکان یابی خطا با استفاده از روش تحلیل موجک که مقایسه سیگنال های خطای نتایج فاصله اندازه گیری را در مقیاس های مختلف برای انتخاب موجک مناسب تحلیل می کند در [۱] پیشنهاد شده است. با این حال، مقیاس انتخاب ارتباط زیادی با اجزای فرکانس سیگنال گذرا خطا و فرکانس نمونه برداری دارد. مکان خطا بر اساس تکنیکی سیگنال مورفولوژیکی (صرفی) در [۲] پیشنهاد شده است. با وجود محاسبه ساده و عملکرد زمان واقعی خوب، نتیجه محاسبه محل خطا دقیق نیست زیرا انتخاب عناصر ساختاری با تطابق سیگنال خطا بسیار دشوار است، که می تواند مستقیماً بر دقت نظارت و سرعت پاسخ دینامیکی تأثیر بگذارد. این مقاله یک الگوریتم مکان یابی خطا را بر اساس روش تبدیل S در خط انتقال ارائه می دهد که نوعی روش تحلیل برگشت پذیر فرکانس زمانی تبدیل فوریه است. این ایده محلی سازی [۳] تبدیل موجک پیوسته و تبدیل فوریه کوتاه مدت را به ارث برده و توسعه می دهد، که دارای تجزیه و تحلیل فرکانس زمانی و ویژگی های استخراج مشخصات است. در عین حال، ایرادهای کوتاه مدت ثابت ارتفاع و عرض پنجره تبدیل فوریه را برطرف می کند. و تجزیه دقیق تر از تبدیل موجک پیوسته در بخش فرکانس بالا است. و مزایای آشکارتری نسبت به روش تبدیل موجک در خطوط انتقال مسافت طولانی دارد.

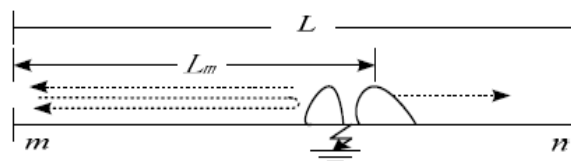
۲- اصول روش مکان یابی خطای موج گذرا و روش تبدیل S

الف- قاعده روند مکان یابی خطای موج گذرا

روش موج گذرا را می توان با توجه به منبع اطلاعاتی مورد نیاز محل خطا به روش یک ترمینال و روش دو ترمینال تقسیم کرد. روش دستیابی به محل خطا بر اساس زمان متفاوت موج گذرا نقطه غسل به شین و سپس انعکاس به نقطه خطا و بازتاب مجدد به شینه

از نقطه خطا، روش موج گذرا یک ترمینالی است. و روش موج گذرا دو ترمینال از طریق تشخیص زمان و سرعت جبهه موج سفر اولیه دو خطا برای رسیدن به شین در دو انتهای خط برای رسیدن به محل خطا است [۴].

در این تئوری، روش مکان یابی خطای دو ترمینالی از قابلیت اطمینان بالایی برخوردار است، اما نیاز به سرمایه گذاری بالایی دارد و به راحتی می توان تحت تأثیر سیستم همگام سازی زمانی (GPS) قرار گرفت. هنگام بروز خطا سیستم همگام سازی داده های دو ترمینالی به خطا برسند، منجر به تشخیص اشتباه محل خطا می شود. در مقابل، روش مکان یابی خطا موج گذرا یک ترمینالی ساده، کم هزینه و اندازه گیری بلادرنگ است که نیازی به همگام سازی داده های دو سر ندارد. در این مقاله از روش موج سفر یک ترمینالی برای مکان یابی خطای خط انتقال استفاده شده است. اصل محل خطای موج سفر یک ترمینال در شکل ۱ نشان داده شده است [۵].



عکس. ۱. اصل محل خطای یک ترمینال

با فرض اینکه طول یک خط L باشد، فاصله خطا L_m از نقطه خطا تا پایانه شین m را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$L_m = \frac{1}{2}v(T_2 - T_1) \quad (1)$$

در جایی که T_1 زمان موج حرکت اولیه نقطه خطا و T_2 زمان رسیدن موج منعکس شده از نقطه خطا به گذرگاه m است، v سرعت موج است.

هنگامی که خطا رخ می دهد، موج حرکتی جریان به دو ترمینال خط ارسال می شود. با توجه به ضریب انعکاس موج در حال حرکت در هر نقطه، می توان فهمید که موج منعکس شده نقطه گسل دارای قطبیت یکسان با موج حرکتی اولیه و موج بازتاب شده شینه پایانه دارای قطبیت مخالف با موج حرکتی اولیه است. با تشخیص قطبیت یکسان جبهه موج گذرای دوم از خط گسل و جبهه موج گذرای اولیه در نقطه اندازه گیری شینه، مشخص می شود که جبهه موج دوم، موج بازتابی نقطه گسل است و موقعیت نقطه گسل در این نقطه قرار دارد. نقطه وسط خط که از طریق فرمول (۱) قابل محاسبه است. هنگام تشخیص قطب مخالف جبهه موج دوم از خط گسل و جبهه موج گذرای اولیه در نقطه اندازه گیری شینه، تشخیص داده می شود که جبهه موج دوم موج منعکس شده گذرگاه ترمینال است و موقعیت نقطه خطا خارج از نقطه میانی در خط است که می تواند از طریق فرمول زیر محاسبه شود (۲) [۶]:

$$L_m = L - \frac{1}{2}v(T_2 - T_1) \quad (2)$$

برای انجام مکان خطای موج گذرا، نکته کلیدی اندازه گیری اختلاف زمانی موج حرکتی اولیه خطا و سر موج دوم برای رسیدن به نقطه اندازه گیری است.

ب. قاعده اصلی روش تبدیل S

تبدیل S که در سال ۱۹۹۶ توسط ژئوفیزیکدانان R.g.Stockwell پیشنهاد شد، یک روش تحلیل برگشت پذیر فرکانس تبدیل فوریه در پنجره زمانی اضافی است که بسط تبدیل موجک پیوسته با استفاده از موجک مورلت به عنوان موجک پایه است. ایده توسعه تبدیل موجک پیوسته و تبدیل فوریه کوتاه مدت [۷] است. تبدیل S(τ, f) سیگنال x(t) به صورت زیر تعریف می شود:

$$S(\tau, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\omega(\tau-t, f)e^{-j2\pi ft} dt \quad (3)$$

$$\omega(\tau-t, f) = \frac{|f|}{\sqrt{2\pi}} e^{\left| \frac{-f^2(\tau-t)^2}{2} \right|} \quad (4)$$

که در آن $\omega(\tau-t, f)$ پنجره گاوس است، τ پارامتر موقعیت برای کنترل پنجره گاوس در محور زمان، f فرکانس است، τ واحد موهومی است. نمایش گسسته تبدیل S را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$S[m, n] = \sum_{k=0}^{N-1} X[n+k] e^{\frac{-2\pi^2 k^2}{n^2}} e^{\frac{j2\pi km}{n}}, n \neq 0 \quad (5)$$

$$S[m, n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k], n = 0 \quad (6)$$

$$X[n] = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X[k] e^{\frac{-j2\pi kn}{n}} \quad (7)$$

سپس تبدیل S را برای N نقطه سیگنال گسسته اکتسابی $X[i] (i=0, 1, \dots, N-1)$ با استفاده از فرمول های (۸) و (۹) انجام دهید. نتیجه تبدیل جمع یک ماتریس زمان-فرکانس با $n+1$ خط و m ستون است که با ماتریس S نشان داده می شود، این ستون ها مربوط به نقاط زمانی نمونه برداری و خطوط مربوط به فرکانس و خط اول $n=0$ مربوط به جزء DC سیگنال است.

$$\Delta f = \frac{f_s}{N} \quad (8)$$

$$f_n = \frac{f_s}{N} n \quad (9)$$

که در آن f_s فرکانس نمونه برداری است، N تعداد نقطه نمونه برداری است [۸].

ضریب ماتریس هر عنصر از ماتریس S به عنوان ضریب ماتریس S نشان داده می شود، که بردار ستون مشخصه فرکانس دامنه سیگنال را در یک زمان معین نشان می دهد، و بردار خط نشان دهنده توزیع دامنه زمانی سیگنال در یک فرکانس معین است.

۳- یک روش جدید برای مکان یابی خطا در خط انتقال بر اساس تبدیل S

موج گذرای خطای خط یک سیگنال، جهش یافته و عجیب است و سر موج آن از نظر دامنه و فرکانس جهش یافته است. که با ماتریس وابسته به قدرمطلق با تبدیل S منعکس خواهد شد. تبدیل S می تواند برای تجزیه و تحلیل ویژگی های تغییرات هر جزء فرکانس سیگنال به طور مستقل استفاده شود، و زمان جهش سیگنال را می توان با تغییر فرکانس مربوط به موج گذرا با زمان تعیین کرد.

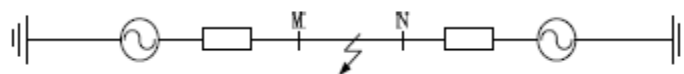
برای تحلیل بهتر محل خطای موج گذرا در سیستم سه فاز، اجزای فاز کوپلینگ سه فاز معمولاً با تئوری تبدیل حالت فاز به اجزای متقابل مستقل تبدیل می شوند. از آنجایی که جزء حالت صفر از زمین به عنوان حلقه استفاده می کند، سرعت موج ناپایدار است. برای جلوگیری از تأثیر مؤلفه حالت صفر، این مقاله از مؤلفه حالت خطی برای تجزیه و تحلیل استفاده می کند.

سه مولفه فاز وابسته به فاز با تئوری تبدیل حالت فاز (تبدیل کلارک) قبل از استخراج جبهه موج متحرک خطای خط با روش تبدیل S و انتخاب سیگنال موج گذرا با طول مناسب قبل و بعد از خطا به اجزای متقابل مستقل تبدیل می شوند. سپس ماتریس حالت S با تبدیل S به اجزای حالت خط بدست می آید. با توجه به نقاط فرکانس انتخاب شده، زمان رسیدن سر موج از طریق مشاهده منحنی دامنه-زمان ماتریس حالت S در نقاط مختلف فرکانس تعیین می شود. در نهایت با مشاهده حداکثر نقطه مقدار منحنی دامنه-زمان در نقطه حداکثر فرکانس، زمان رسیدن سر موج به طور دقیق تعیین می شود. از آنجا که ماتریس مدول تبدیل S نمی تواند قطبیت سر موج را تعیین کند، داده های موج گذرای اصلی سیگنال برای ایجاد یک تفاوت ترتیب در هر سر موج مورد نیاز است تا تأیید شود که سر موج دوم از موج بازتابی از نقطه خطا یا موج بازتابی گذرگاه انتهایی می آید، که می تواند قطبیت موج را تعیین کند.

۴- تجزیه و تحلیل شبیه سازی

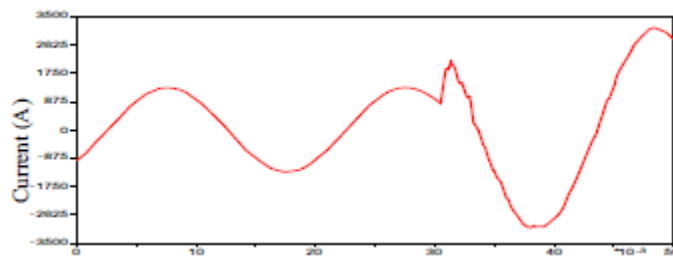
مدل یک سیستم منبع تغذیه دو ترمینال ساده توسط ATP/EMTP ساخته شده است که در شکل ۲ نشان داده شده است. خط با طول کامل ۲۵۰ کیلومتر، خط انتقال سه فاز ۵۰ هرتز با سطح ولتاژ ۷۵۰ کیلوولت است که از مدل پارامتر توزیع شده استفاده می کند. و پارامترهای خط به ترتیب به صورت زیر بیان می شوند:

$$R_1 = 0.027 \frac{\Omega}{km}; R_0 = 0.1948 \frac{\Omega}{km}; C_1 = 0.0127 \frac{\mu F}{km}; C_0 = 0.0127 \frac{\mu F}{km}; X_1 = 0.8863 \frac{\Omega}{km}; X_0 = 2.068 \frac{\Omega}{km}$$

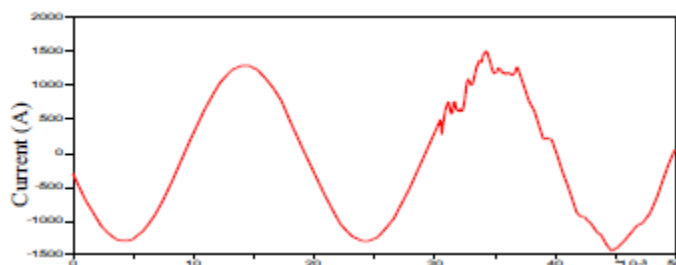


شکل ۲ مدل یک سیستم قدرت برای شبیه سازی

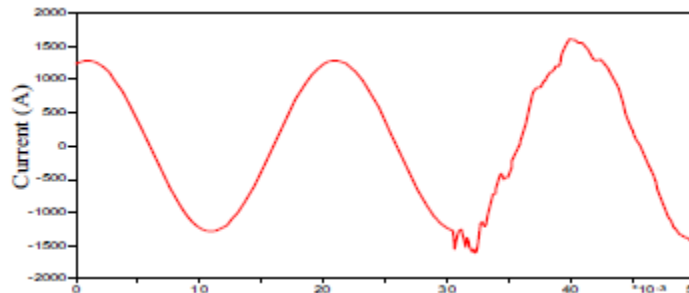
با فرض اینکه خط A اتصال کوتاه به زمین است و مقاومت اتصال به زمین 200Ω و فرکانس نمونه برداری ۱ MHz و زمان شبیه سازی ۰.۰۵ ثانیه و زمان وقوع خطا ۰.۰۳ ثانیه است، موج حرکتی جریان گذرا در انتهای N اندازه گیری شده در زمان شکست واقع در ۱۰۰ کیلومتری انتهای M در شکل ۳ نشان داده شده است.



زمان (میلی ثانیه)
 (a) شکل موج جریان فاز A

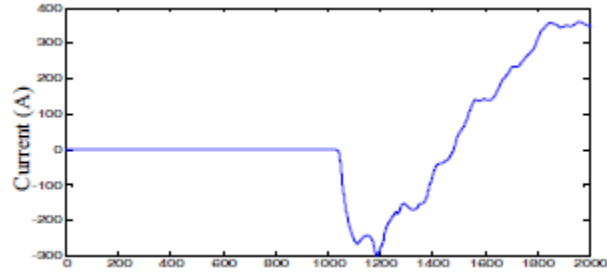


زمان (میلی ثانیه)
 (b) شکل موج جریان فاز B



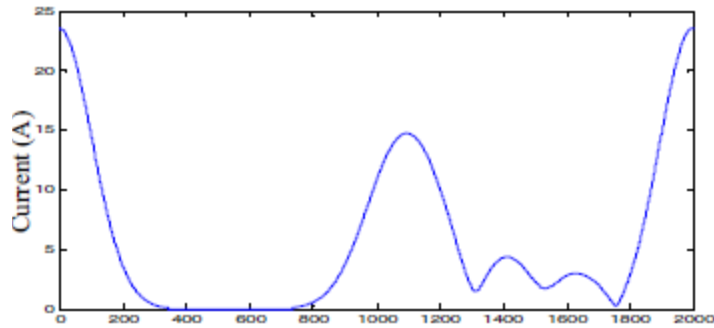
زمان (میلی ثانیه)
 (c) شکل موج جریان فاز C
 شکل ۳ شکل موج جریان سه فاز

در متلب، داده های به دست آمده از شبیه سازی پردازش می شوند و داده های اصلی توسط حالت فاز تبدیل می شوند و ۲۰۰۰ نقطه نمونه برداری قبل و بعد از خطا تجزیه و تحلیل می شوند. شکل موج جزء حالت خط پس از تبدیل کلارک در شکل ۴ نشان داده شده است.



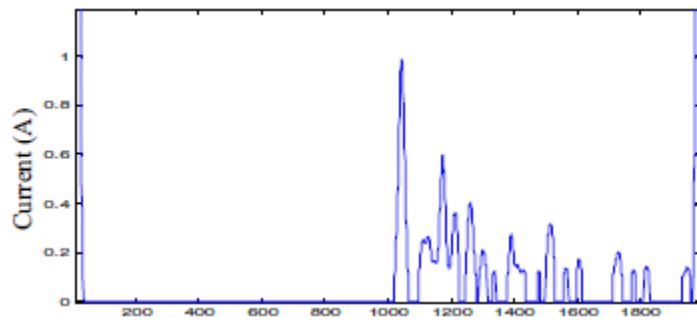
شکل ۴ موج حالت های جریان

پس از اینکه مولفه خطای جریان حالت خطی تبدیل S را انجام داد، منحنی زمان دامنه سیگنال شکل موج در فرکانس ۱۰ کیلوهرتز، ۱۰۰ کیلوهرتز، ۲۰۰ کیلوهرتز و ۴۰۰ کیلوهرتز در شکل ۵ نشان داده شده است.



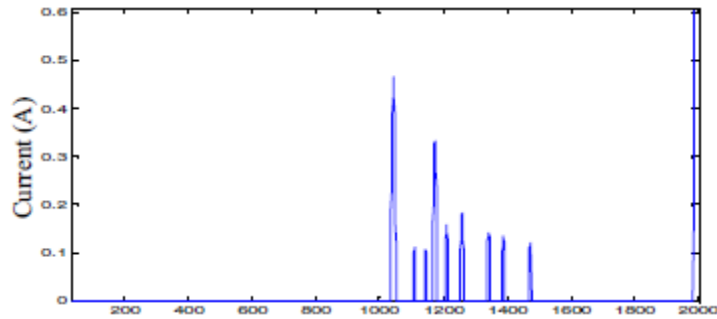
نقاط نمونه برداری (N)

(a) منحنی زمان دامنه ۱۰ کیلوهرتز

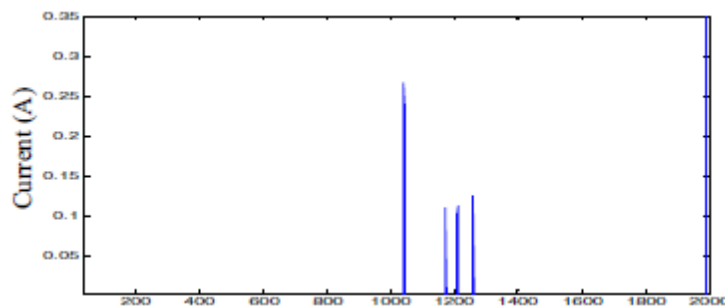


نقاط نمونه برداری (N)

(b) منحنی زمان دامنه ۱۰۰ کیلوهرتز



نقاط نمونه برداری (N)
(C) منحنی زمان دامنه ۲۰۰ کیلوهرتز



نقاط نمونه برداری (N)
(d) منحنی زمان دامنه ۴۰۰ کیلوهرتز

شکل ۵ نتایج تبدیل S

به وضوح می توان مشاهده کرد که هر چه فرکانس بالاتر باشد، عملکرد سر موج گذرا از شکل ۵ آشکارتر است. در منحنی زمان دامنه ۴۰۰ کیلوهرتز، نمای موج گذرا اولیه آشکارترین است و دامنه در نقطه نمونه برداری ۱۰۴۳ به حداکثر می رسد. با اختلاف مرتبه اول، قطبیت سر موج اولیه موج گذرا را می توان منفی ارزیابی کرد و قطبیت سر موج گذرا دوم منفی و قطبیت سر موج گذرا سوم مثبت است. بنابراین می توان دانست که سر موج دوم، موج بازتابی از نقطه گسل، سومین سر موج گذرا موج بازتابی گذرگاه انتهایی و نقطه گسل در نقطه میانی است. با انتخاب انتهای M به عنوان انتهای محدوده، $L_m = 99.83km$ را می توان با توجه به نتایج تبدیل S $t_1 = 10.43ms, t_2 = 11.10ms$ و با فرض $v = 298000km/h$ از فرمول محدوده یک ترمینال محاسبه کرد، بدیهی است که این روش برای تعیین محل خطا دقیق تر است.

مشابه موارد فوق، تعدادی آزمایش شبیه سازی این روش در نقاط خطای مختلف انجام شده است که نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱

نتایج مکان یابی خطا (روش تبدیل S)

| d/km | t ₁ /ms | t ₂ /ms | L _m /km | ε/km |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| 50 | 10.22 | 10.55 | 49.17 | 0.83 |
| 100 | 10.43 | 11.10 | 99.83 | 0.17 |
| 125 | 10.54 | 11.38 | 125.16 | 0.16 |
| 150 | 10.65 | 11.32 | 150.17 | 0.17 |
| 200 | 10.86 | 11.20 | 199.34 | 0.66 |

نکته: d فاصله بین خطا و باس M است، ε انحراف است، این علائم در جدول ۲ نیز یکسان است.

جدول ۲

نتایج مکان یابی خطا (روش موجک)

| d/km | t ₁ /ms | t ₂ /ms | L _m /km | ε/km |
|------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
| 50 | 10.30 | 10.64 | 51.36 | 1.36 |
| 100 | 10.51 | 11.18 | 99.18 | 0.82 |
| 125 | 10.62 | 11.46 | 125.53 | 0.53 |
| 150 | 10.73 | 11.74 | 151.01 | 1.01 |
| 200 | 10.95 | 12.30 | 201.78 | 1.78 |

مشاهده می شود که نتایج محل خطای روش تبدیل S از جدول ۱ دقیق تر است. نتایج محاسبه شده با روش تبدیل موجک سنتی در جدول ۲ نشان داده شده است. هنگامی که خطای مقاومت بالا در خط انتقال مسافت طولانی رخ می دهد، دامنه جلوی موج گذرا کوچک است و تکینگی سر موج تحت تأثیر پراکندگی رنگی، تاج ضربه ای و سایر عوامل کند می شود. از نتایج فوق می توان فهمید که روش تبدیل موجک بر اساس اصل تشخیص تکینگی حداکثر مدول برای تعیین جبهه موج گذرا دشوار است و نتایج آن روش دارای انحراف زیادی است. در این زمان می توان از روش تبدیل S برای تعیین دقیق زمان رسیدن سر موج در حال حرکت استفاده کرد.

۵. نتیجه گیری ها

(۱) نتایج شبیه سازی نشان می دهد که روش مکان یابی خطای جدید بر اساس تبدیل S می تواند مکان خطا را زمانی که خط انتقال راه دور دچار خطا است، به دقت تعیین کند. و نتایج بصری تر و قابل درک تر هستند.

(۲) در مقایسه با تحلیل موجک، انحراف نتیجه تبدیل S کوچکتر است.

(۳) در کاربرد عملی، عوامل زیادی وجود دارد که بر تشخیص موج گذرا تأثیر می گذارد. قابلیت اطمینان روش را می توان با استفاده از روش فیلتر مناسب برای از بین بردن تأثیر نویز بهبود بخشید. بنابراین بررسی بیشتر روش های جدید تشخیص و شناسایی موج در حال حرکت بسیار ضروری است.

قدردانی

پروژه پشتیبانی شده توسط طرح تحقیقاتی پایه علوم طبیعی در استان شانشی چین (برنامه شماره ۲۰۱۴JM2-5077۲).

REFERENCES

- [1] Qin Jian, Peng Li-ping and Wang He-chun, "Single Terminal Methods of Traveling Wave Fault Location in Transmission Line Using Wavelet Transform," *Automation of Electric Power Systems*, vol. 29, pp. 62-65, 2005.
- [2] Quan Yu-sheng, He Qiu-yu, Wang Qian, et al, "Single Terminal Methods of Traveling Wave Fault Location in Transmission Line Using Wavelet Transform," *High Voltage Engineering*, vol. 33, pp. 177-181, 2007.
- [3] Su Hong-chun, *Application of signal processing in Power Engineering*, Science Press, 2009.
- [4] Ge Yao-zhong, *The principle and technology of new type of relay protection and fault location*, Xi'an: Xi'an Jiao Tong University press, 1996.
- [5] Chen Yue-yun, Qin Jian, Wang Xin, et al, "A Survey on Fault Location for Distribution Network," *Power System Technology*, vol. 30, pp. 89-93, 2006.
- [6] Liu Ya-dong, Sheng Ge-hao, Wang Kui, et al, "Method and Simulation Analysis of Comprehensively Distributed Fault Location of Transmission Line," *High Voltage Engineering*, vol. 37, pp. 923-929, 2011.
- [7] STOCKWELL R G, MANSINHA L, LOWE R P, "Localization of the complex spectrum + the S transform," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 44, pp. 998-1001, 1996.
- [8] Liu Xin, Yang Hong-geng and Zhao Jun, "Classification for Short Duration Power Quality Disturbance Based on S-transform with Module Time-frequency Matrixes Partial Similarity," *Automation of Electric Power Systems*, vol. 33, pp. 62-67, 2009.
- [9] J.R. Marti, "Accurate Modeling of Frequency 2 Dependent Transmission Line in Electromagnetic Transient Simulation," *IEEE Trans, On Power Apparatus and System*, vol. 101, pp. 147-157, 1982.
- [10] Jiang Tao, Lu Yu-ping, "Study of Fault Location Based on Single Terminal Traveling Waves Avoiding Wave Speed Influence," *Electric Power Automation Equipment*, vol. 24, pp. 29-32, 2004.