Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
P.P 82-96

Vol. 11/ No. 1/ Spring 2022
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639

Detection of partial discharge in covered conductor medium voltage distribution lines

Mohammadali Yavari[1], Davoud Abootorabi Zarchi[2], Alireza Sedighi Anaraki[3]
1. Department of Electrical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran
mohammadaliyavari@stu.yazd.ac.ir
*2. Department of Electrical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran, *Corresponding Author*
d.abootorabi@yazd.ac.ir
3. Department of Electrical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran
sedighi@yazd.ac.ir

Abstract:
This paper presents a method for detecting the location of partial discharge in medium voltage covered conductor (CC) lines. The use of CCs is increasing day by day due to higher reliability, less susceptibility to climate change, and fewer short circuit faults than overhead lines. CCs are commonly used in forests. The lack of rapid failure detection of protection relays when the tree falls on the CC is one of its most important disadvantages. Scratching of CC insulation due to a tree falling on it usually leads to partial discharge (PD), which can lead to short circuit faults in the long run. Because the CC may be installed in an impassable path, it is difficult to detect a tree falling on the CC or the growing foliage colliding with the CC, and if not done promptly, it can lead to a short circuit fault. In this paper, for the first time, while obtaining a three-phase CC model, the falling of a tree on CC is simulated by applying a PD pulse source at the desired location. The proposed method is that first the PD signal is applied at the location of the electrical posts and the waveform obtained at the end of the line is stored and then their FFT is calculated as reference signals. To find the location of an unknown location PD, the signal obtained at the end of the line is saved after eliminating its main component of frequency and noise. Afterward, its FFT is calculated. Then, using the method of maximum correlation of signals, the nearest electric pole to the location of PD is determined. The proposed method was applied in different cases in a sample system, and satisfactory results were obtained.

Keywords: Covered Conductor, Partial Discharge, Location detection, Maximum Correlation Method, Phase to Ground Capacitor, Covered Conductor Modeling, EMTP.

Submit date: 2021/08/05
Accepted date: 2021/12/26

Corresponding author Name: Davoud Abootorabi Zarchi
Corresponding author address: Electrical Engineering Faculty, Yazd University, Yazd, Iran.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

Iranian Electric Industry Journal
Quality & Productivity
ص.ص 96- 82

Vol. 11 / No. 1/ Spring 2022
ISSN 2322-2344
eISSN 2717-1639

تشخیص محل تخلیه جزئی در خطوط توزیع فشار متوسط با هادی روکش دار

نوع مطالعه: پژوهشی

محمد علی یاوری[۱]، کارشناسی ارشد، داود ابوترابی زارچی[۲]، استادیار، علیرضا صدیقی انارکی[۳]، دانشیار

۱-دانشکده مهندسی برق-دانشگاه یزد-یزد-ایران

- **mohammadaliyavari@stu.yazd.ac.ir**

۲-دانشکده مهندسی برق-دانشگاه یزد-یزد-ایران

- **d.abootorabi@yazd.ac.ir**

۳-دانشکده مهندسی برق-دانشگاه یزد-یزد-ایران

- **sedighi@yazd.ac.ir**

چکیده: این مقاله روشی را جهت تشخیص محل تخلیه جزئی در خطوط هادی روکش دار فشار متوسط ارائه می‌دهد تخلیه جزئی یکی از عیوب رایج در هادی‌های روکش‌دار می‌باشد که در صورت وجود طولانی مدت حتی می‌تواند منجر به عملکرد رله تشخیص خطای اتصال کوتاه گردد. روش پیشنهادی ارائه شده در این مقاله، پالس PD دریافت شده در انتهای خط را به کمک روش حداکثر همبستگی سیگنال‌ها مورد تحلیل می‌دهد و محل وقوع تخلیه جزئی با دقت بالایی تشخیص می‌دهد. جهت مدلسازی خط سه فاز CC در نرم‌افزار EMTP ، روابط تحلیلی مربوط به امپدانس‌ها و خازن‌های توالی‌های صفر، مثبت و منفی این نوع خط برای اولین بار ارائه شده است و سپس به کمک روابط بدست آمده مدل مربوط به وقوع تخلیه جزئی در خطوط هادی روکش دار سه فاز استخراج شده است. در ادامه به کمک روش پیشنهادی محل تقریبی وقوع تخلیه‌های جزئی ناشی از تماس درختان یا عوامل دیگر با هادی روکش‌دار تعیین می‌شود تا از طریق بازدیدهای بصری و رفع مانع موجود بر هادی برقدار، از پیشروی رخداد تخلیه‌های جزئی و قطعی برق مشترکین جلوگیری شود. روش پیشنهادی در یک شبکه نمونه توزیع اعمال شده است ونتایج مطلوبی بدست آمده است. محل خطا با در نظر گرفتن حالت‌های مختلف برای وقوع PD با دقت بسیار مناسبی تشخیص داده شده است.

کلمات کلیدی: تخلیه جزئی، تشخیص محل ، روش حداکثر همبستگی، ظرفیت خازنی فاز به زمین، مدلسازی هادی روکش دار، نرم‌افزار EMTP، هادی روکش‌دار.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۴۰۰/۰۵/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله :۱۴۰۰/۱۰/۰۵

نام نویسنده‌ی مسئول: داود ابوترابی زارچی

نشانی نویسنده مسئول: بخش قدرت- دانشکده مهندسی برق-دانشگاه یزد- یزد- ایران.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

۱. مقدمه

از دهه ۱۹۶۰ که تلاش‌هایی جهت جایگزینی شبکه‌های روکش‌دار آغاز شد روز به روز بر استفاده از CCها بدلیل کاهش عیوب خطوط هوایی لخت افزوده می‌گردد. امروزه و مخصوصا در نواحی جنگلی، CCها به دلیل تحمل برخورد فازها با یکدیگر، کاهش نرخ خاموشی در شرایط جوی نامساعد و صرفه‌جویی اقتصادی از طریق کاهش حریم هوایی و ملاحظات زیست محیطی به‌عنوان جایگزین مناسبی برای هادی‌های لخت شناخته شده‌اند (Hashmi et al., 2012; Isa et al., 2012). بررسی‌های تجربی و آزمایشگاهی نیز ثابت کرده است که خطوط هادی روکش‌دار گزینه‌های بهتری در مقایسه با هادی‌های لخت نصب شده در شبگه‌های توزیع فشار متوسط هستند (He et al., 2015; Kiitam et al., 2018). هادی‌های روکش‌دار از بروز خطای زمین و اتصال کوتاه دو فاز جلوگیری می‌کنند و سطح ایمنی و قابلیت اطمینان کل سیستم را افزایش می‌دهند. خطر برق‌گرفتگی برای انسان‌ها و حیوانات در خطوط CC به نحو قابل توجهی کاهش می‌یابد. همچنین استفاده از CC فرصت زمانی طولانی‌تری را برای جداسازی درختانی که در اثر طوفان یا حادثه بر روی آن‌ها افتاده است را فراهم می‌کند (نوبخت و شمشیری، ۱۳۹۷). در مقایسه با خطوط هادی لخت، فاصله کمتر فازها میدان‌های مغناطیسی ناشی از عبور جریان از خط را کاهش می‌دهد (Pakonen, 2007). با این حال مشکلاتی از قبیل حفاظت اضافه ولتاژ، ارتعاشات آئولین و یا تخلیه جزئی نیز در این خطوط مشاهده می‌گردد. همچنین خطوط CC به تجهیزات خاصی جهت حفاظت احتیاج دارند. مهم‌ترین عیب استفاده از CC این است که دستگاه‌های حفاظتی بالادست قادر به تشخیص خطای تکفاز به زمین یا برخورد مداوم شاخه‌های درخت به این خطوط نیستند (Chen et ak., 2020). از یک طرف هزینه نصب اولیه خطوط CC بالاست ولی از طرف دیگر بدلیل کاهش حریم و ساختار ساده تیر خود نگهدار هزینه ساخت و ساز کاهش می‌یابد. خطوط CC نسبت به اضافه ولتاژهای جوی حساسیت کمتری دارند و تاثیر نامطلوب آن‌ها بر چشم‌انداز و زیبایی محیط کمتر از خطوط هوایی می‌باشد. خطوط CC بدلیل کاهش امپدانس خطوط در اثر نزدیک شدن فازها به یکدیگر دارای تلفات کمتر و کیفیت توان بالاتر هستند. همچنین جریان‌های نشتی به دلیل وجود روکش، کاهش یافته و در نتیجه تلفات و افت ولتاژ نیز کاهش می‌یابد. آمار نشان می‌دهد که تعداد ۴/۵ خطای رخ داده در هر ۱۰۰ کیلومتر در هر سال برای خط هادی لخت به تعداد ۰/۹ خطای رخ داده در هر ۱۰۰ کیلومتر در هر سال برای خط CC کاهش می‌یابد (He et al., 2015). مرجع (El-Shaarawy et al. 2021) یک مطالعه عددی مبتنی بر FEM برای طراحی اقتصادی خطوط CC فشار متوسط بر اساس بیشینه کاهش در میدان الکتریکی انجام شده است که نتایج آن نشان می‌دهد که بهتر است از خطوط CC و خطوط لخت هوایی در کنار یکدیگر و با فاصله مناسب استفاده شود. بروز پدیده تخلیه جزئی در عایق روکش CC یکی از مهم‌ترین عیوب CC محسوب می‌شود. ای تخلیه جزئی ممکن است در اثر وجود حفره در عایق یا در اثر خراشیدگی عایق ناشی از افتادن درخت در اثر طوفان یا حادثه ایجاد شود. شناسایی و تعیین محل وقوع تخلیه جزئی بدلیل مشکلاتی که بعدا در شبکه ممکن است ایجاد شود حائز اهمیت است (Peng et al., 2013). احتمال بروز PD در محیط‌های آلوده‌ی خشک بیشتر می‌باشد. مرجع (Misák et al., 2017) روش طراحی مناسبی را جهت کاهش PD در CC در محیط‌های خشک و آلوده ارائه داده است.کویل رگوفسگی مرسوم‌ترین تجهیز اندازه‌گیری استفاده شده در تشخیص PD و سپس استفاده از این سیگنال جهت تشخیص مکان PD می‌باشد (Shafiq, 2014; Hashmi, 2008; Li et al., 2020). شفیق در (Shafiq, 2014) به بررسی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد فرکانس بالای کویل رگوفسکی برای اندازه‌گیری سیگنال تخلیه جزئی پرداخته است. مرجع (Hashmi, 2008) روشی برای استفاده از کویل رگوفسکی جهت پایش وضعیت خطوط توزیع CC معرفی کرده است. سیگنال بدست آمده ازکویل رگوفسکی با نویز محیطی همراه است بنابراین (Li et al., 2020) روشی معرفی کرده است که از تبدیل ویولت به منظور سرکوب نویز مداخله‌گر استفاده می‌کند. تا کنون روش‌های مختلفی برای تشخیص محل PD ارائه شده است (Hashmi et al., 2012; Hashmi, 2007; Caliari, 2015; Dong & Sun, 2020; Adhikari, 2021; Dong& Sun, 2020).

(Hashmi et al., 2012) یک تکنیک بر مبنای همبستگی چند طرفه بدین منظور ارائه داده است. (Hashmi, 2007) از انتشار امواج و قوانین مربوط به رفت و برگشت امواج در خط جهت تخمین محل PD در CC استفاده کرده است. در مرجع (Caliari, 2015)

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

مطالعه‌ای بر رفتار خط CC فشار قوی هنگامی که در تماس با شاخه‌های درخت قرار می‌گیرد انجام شده است. در این مطالعه سنسورهایی در انتهای خط قرار گرفته است تا با آنالیز پالس‌های PD ایجاد و منتشر شده در طول خط، شروع خطای PD ناشی از افتادن درخت بر روی خط، قبل از خروج کامل خط شناسایی گردد. در (Dong & Sun, 2020) یک الگوریتم شناسایی مبتنی بر سری‌های زمانی تجزیه‌پذیر و شبکه‌های دارای حافظه کوتاه‌مدت جهت شناسایی تخلیه PD در خطوط CC ارائه داده است که نسبت به روش‌های سنتی موجود عملکرد بهتر و از نظر عملی نیز امکان‌پذیری بیشتری دارد. اما تاکنون روابط تحلیلی برای محاسبه ظرفیت خازنی CC با در نظر گرفتن پارامترهای فیزیکی نظیر شعاع هادی، فاصله فازها و ارتفاع از زمین ارائه نشده است. همچنین اکثر روش‌های معرفی شده به تعداد زیادی اندازه‌گیر در ابتدا و انتهای هر تیر برق دارد. از آنجا که خیلی از مواقع از CC در جنگل‌ها استفاده می‌شود؛ در صورتی که بر اثر طوفان یا حادثه و در نتیجه افتادن درخت بر روی خط و یا رشد شاخ و برگ درختان، تخلیه PD در عایق CC رخ دهد چون زمان زیادی برای رفع عیب و جلوگیری از تبدیل PD به خطای اتصال کوتاه فاز به زمین وجود ندارد و اینکار تنها با بازدید بصری امکانپذیر است که گاهی بدلیل صعب العبور بودن منطقه زمان زادی طول خواهد کشید تا محل وقوع PD تشخیص داده شود. بایستی به دنبال روشی بود که محل تقریبی افتادن درخت را تشخیص داد تا سریعا مانع رفع شود هدف اصلی این مقاله همین موضوع است.

نوآوری‌های اصلی این مقاله را به شرح زیر می‌توان بیان کرد:

- برای نخستین بار رابطه تحلیلی برای محاسبه ظرفیت خازنی توالی صفر، مثبت و منفی خط سه فاز هادی روکش‌دار با در نظر گرفتن ضخامت برای عایق آن ارائه شده است.
- با محاسبه ماتریس امپدانس توالی مثبت، منفی و صفر خط CC بدست آمده و با استفاده از ماتریس بدست آمده برای هادی CC سه فاز، مدل این خط در نرم افزار EMTP-RV شبیه‌سازی شده است.
- تنها با اندازه‌گیری سیگنال PD در انتهای خط - در روش پیشنهادی نیازی نیست در ابتدا و انتهای هر خط مابین دو تیر برق دستگاه اندازه‌گیر نصب شود- و دانستن مشخصات فیزیکی خط CC نظیر شعاع هادی و ارتفاع نصب CC و فاصله فازها از یکدیگر و با استفاده از روش همبستگی متقابل محل وقوع تخله جزئی –شماره تیر برق نزدیک به محل PD– با دقت بالایی محاسبه گردیده است.

ساختار ادامه مقاله به این صورت است که در بخش دوم به ارائه روابط لازم برای مدلسازی خط هادی روکش‌دار پرداخته می‌شود. مدل ساخته شده به کمک روابط بدست آمده و پالس اعمالی به خط و روش همبستگی متقابل در بخش سوم توضیح داده شده است. نتایج شبیه‌سازی در بخش چهارم آمده و مورد تحلیل قرار گرفته است. بخش پنجم به جمع‌بندی مقاله پرداخته است.

۲. تعیین امپدانس توالی صفر، مثبت و منفی و ظرفیت خازنی خط CC

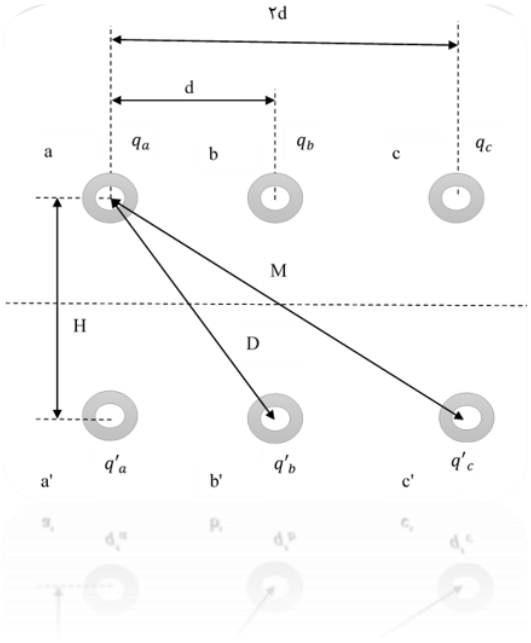
رابطه ولتاژ و جریان توالی‌های صفر، مثبت و منفی برای یک خط کامل ترنسپوز شده مطابق معادله (۱) می‌باشد (Anderson, 1995):

$$\begin{bmatrix} V_{a_0} \\ V_{a_1} \\ V_{a_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{a_0} \\ I_{a_1} \\ I_{a_2} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در آن اندیس ۰، ۱ و ۲ به معنای توالی صفر، مثبت و منفی می‌باشد. برای یک سیستم سه فاز با هادی روکش‌دار که در شکل (۱) نشان داده شده است امپدانس‌های توالی صفر، مثبت و منفی سیستم سه فاز هادی روکش‌دار مطابق معادلات (۲) و (۳) بدست می‌آید که واحد آن‌ها $\frac{\Omega}{unit\ length}$ می‌باشد.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]



شکل ۱. سیستم سه فاز با هادی روکش‌دار و تصویرآن‌ها

$$Z_0 = (r_a + 3r_d) + j\,\omega k \ln\frac{D_e^3}{D_s D_{eq}^2} \qquad (۲)$$

$$Z_1 = Z_2 = r_a + j\,\omega k \ln\frac{D_{eq}}{D_s} \qquad (۳)$$

r_a مقاومت الکتریکی هادی روکش دار است و از معادله (۴) بدست می‌آید:

$$r_a = \rho\frac{L}{A} \qquad (۴)$$

r_d مقاومت تجربی زمین است و تابعی از فرکانس می‌باشد که از رابطه‌ی تقریبی کارسون که در معادله (۵) نشان داده شده است بدست می‌آید:

$$r_d = 9.869\times10^{-4} f \qquad (۵)$$

D_s فاصله میانگین هندسی خودی یا شعاع میانگین هندسی می‌باشد و D_{eq} فاصله میانگین هندسی متقابل می‌باشد که به ترتیب از روابط (۶) و (۷) بدست می‌آید.

$$D_s = 0.7788r \qquad (۶)$$

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab}D_{ac}D_{bc}} \qquad (۷)$$

که در آن r شعاع هادی روکش‌دار و D_{ij} فاصله فاز i تا فاز j برحسب متر می‌باشد. مقدار ωk برای فرکانس ۵۰ هرتز برابر ۰/۰۶۲۸۳ می‌باشد (Anderson, 1995).

همچنین مقدار D_e از رابطه‌ی (۸) بدست می‌آید.

$$D_e = 2160\sqrt{\frac{p}{f}} \qquad (۸)$$

با جایگذاری روابط (۴) تا (۸) در معادلات (۲) و (۳) امپدانس‌های توالی صفر و مثبت بدست می‌آیند. امپدانس توالی منفی در اینحالت با امپدانس توالی مثبت برابر است (Anderson, 1995). در ادامه روابط تحلیلی خازن توالی صفرو مثبت بدست می‌آید.

۱-۲. محاسبه خازن توالی‌های صفر و مثبت

رابطه بین ولتاژ و بار الکتریکی در یک خط فشار متوسط سه فاز در معادله (۹) نشان داده شده است (Tleis, 2007):

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{bmatrix} V \qquad (۹)$$

با معکوس کردن ماتریس P می‌توان رابطه بین بارهای الکتریکی و ولتاژ در یک خط فشار متوسط سه فاز را مطابق معادله (۱۰) نشان داد (Cheng, 2013):

$$\begin{bmatrix} q_a \\ q_b \\ q_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{aa} & -C_{ab} & -C_{ac} \\ -C_{ba} & C_{bb} & -C_{bc} \\ -C_{ca} & -C_{cb} & C_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} \frac{C}{m} \qquad (۱۰)$$

همچنین رابطه بین ولتاژ خنثی فاز i (i=a, b, c) با اختلاف پتانسیل بین دو نقطه i و i' از رابطه (۱۱) بدست می‌آید.

$$V_i = \frac{1}{2}V_{ii'} \qquad (۱۱)$$

حال با توجه به مرجع (Cheng, 2013) و به کمک روش تصویر، برای سه فاز حامل بارهای q_a، q_b و q_c واقع در ارتفاع $\frac{H}{2}$ از سطح زمین، اختلاف ولتاژ بین هر فاز با تصویر خودش با قاعده جمع آثار محاسبه می‌گردد (معادله (۱۲))در نهایت بعد از ساده‌سازی معادله (۱۳) بدست می‌آید و به روش مشابه ولتاژ فازهای b و c از معادلات (۱۴) و (۱۵) بدست می‌آید (به دلیل بزرگ بودن فرمول‌های (۱۲-۱۵) در انتهای مقاله آورده شده است).

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

که در این معادلات مطابق شکل (۱)، H مقدار فاصله فازa تا تصویر خودش می‌باشد؛ D و M نیز مقدار فاصله فازa تا تصویر دو فاز دیگر می‌باشد و d نیز فاصله فازها از یکدیگر می‌باشد (همگی بر حسب متر). ΔL نیز ضخامت روکش عایق CC می‌باشد. در صورتی که $\Delta L = 0$ با کمی ساده‌سازی، روابط خط انتقال هوایی سه‌فاز با هادی لخت بدست خواهد آمد.. اکنون مقادیر P_{ij} که در معادله (۹) بدست آمده است را می‌توان از روابط (۱۳-۱۵) بدست آورد و به تبع آن عناصر ماتریس C را تعیین نمود. همینطور از روابط (۱۳-۱۵) مشخص است که $P_{aa} = P_{bb} = P_{cc}$ و $P_{ab} = P_{ba} = P_{bc} = P_{cb}$ و $P_{ac} = P_{ca}$.

با داشتن مقادیر C_{ij} می‌توان مقادیر خازن توالی را از روابط زیر بدست آورد (Anderson, 1995):

$$C_{S_0} = \frac{1}{3}(C_{aa} + C_{bb} + C_{cc})$$
$$C_{M_0} = \frac{1}{3}(C_{ab} + C_{bc} + C_{ca}) \quad (۱۶)$$

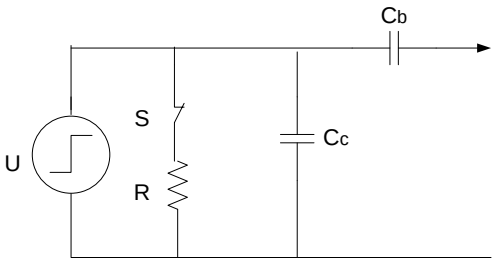
$$C_0 = C_{S_0} - 2C_{M_0}$$
$$C_1 = C_{S_0} + C_{M_0} \quad (۱۷)$$

بدین ترتیب امپدانس و خازن‌های توالی صفر، مثبت و منفی بدست آمد و آماده است تا مدلسازی CC در نرم افزار EMTP انجام گردد.

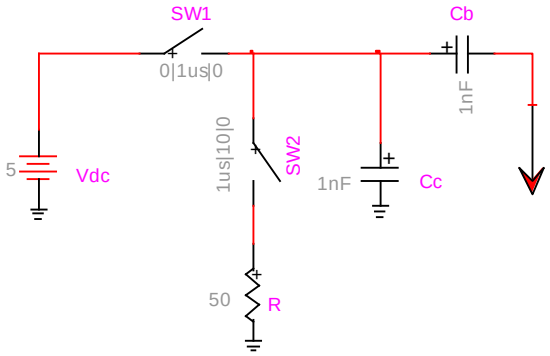
۳. مدلسازی تخلیه جزئی

PD مانند یک پالس جریان ضربه می‌باشد، لذا در این مقاله از مدار مولد پالس ضربه جریانی برای مدلسازی PD استفاده شده‌است این مدار مولد پالس ضربه در شکل (۲) نشان داده شده است. در شکل (۲) خازن C_c معادل خازن عایقی می‌باشد که تخلیه جزئی در آن رخ می‌دهد و خازن C_b معادل خازن سری عایق می‌باشد. منبع ولتاژ U جهت شارژ این خازن‌ها به کاربرده شده است. در هنگام شارژ خازن‌ها کلید باز است و پس از شارژ خازن‌ها کلید بسته می‌شود و خازن‌ها از طریق کلید و مقاومت سری با آن تخلیه می‌شوند (Kreuger, 1989).

در این مقاله از نرم‌افزار EMTP-RV که جهت مطالعات فرکانس بالا و حالت گذرا دقیق و مناسب می‌باشد، جهت شبیه‌سازی‌ها استفاده شده است (www.emtp.com). مدار مولد پالس تخلیه جزئی شبیه سازی شده در نرم افزار EMTP در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۲. مدار مولد پالس تخلیه جزئی

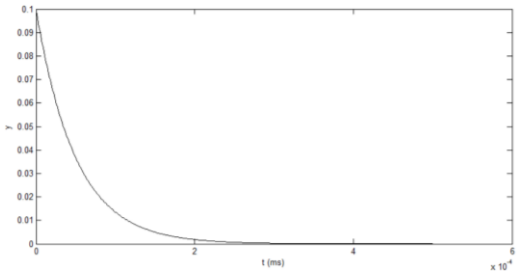


شکل ۳. مدار مولد پالس تخلیه جزئی شبیه‌سازی شده در نرم افزار EMTP-RV

خروجی مدار مولد پالس تخلیه جزئی در شکل (۴) نمایش داده شده است.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]



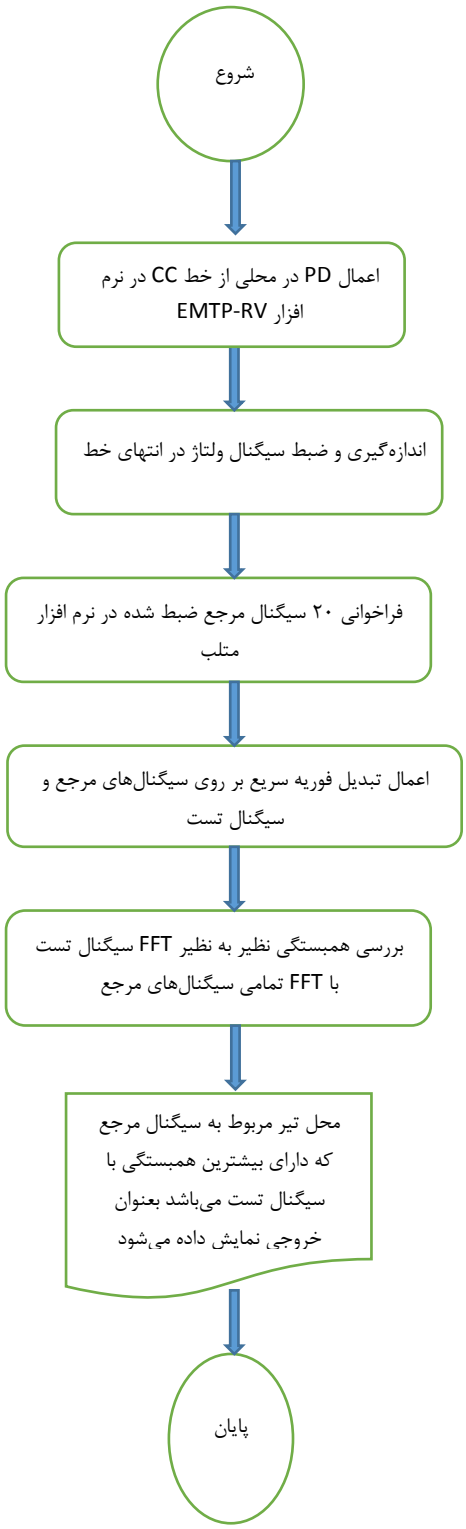
شکل۴. جریان ضربه ایجاد شده توسط مولد پالس تخلیه جزئی

۳-۱. همبستگی متقابل برای تشخیص محل خطا

همبستگی متقابل، سنجشی است که جابجایی دو متغیر یا مجموعه‌ای از داده‌ها را نسبت به یکدیگر نشان می‌دهد. در واقع همبستگی میزان نزدیکی بین دو متغیر را نشان می‌دهد (شیفر و اوپنهایم، ۱۳۹۸). همبستگی متقابل (یا کوواریانس متقابل) حاصلضرب داخلی بین دو سیگنال می‌باشد که اغلب برای تعیین میزان شباهت یا وابستگی متقابل بین دو سیگنال استفاده می‌شود (کومار، ۱۳۹۵). تابع همبستگی بین دو سیگنال x و y با تعداد N نمونه به صورت معادله (۱۸) بیان می‌شود:

$$Corr\{x,y\}[n]=\sum_{m=1}^{N}x[m].y[m+n] \qquad (۱۸)$$

که اگرx=y باشد، همبستگی خودکار سیگنال x بدست می‌آید. روش پیشنهاد شده در این مقاله بدین صورت است که ابتدا تعدادی سیگنال به عنوان سیگنال‌های مرجع با دانستن محل وقوع تخلیه جزئی و شکل جریانی PD ذخیره می‌شود و بلافاصله تبدیل فوریه سریع (FFT) آن‌ها محاسبه می‌شود. سپس وقوع تخلیه جزئی در محل تصادفی مورد نظر از خط CC به کمک مولد پالسی تصادفی نشان داده شده در شکل (۳) شبیه‌سازی می‌شود. سیگنال بدست آمده در انتهای خط ذخیره و FFT آن محاسبه می‌گردد. سپس همبستگی این سیگنال با تک تک سیگنال‌های مرجع محاسبه شده



شکل (۵): الگوریتم روش پیشنهادی جهت تشخیص محل وقوع تخلیه جزئی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

و نهایتا ماکزیمم مقدار همبستگی را تعیین کرده و آن سیگنال مرجعی که سیگنال خطا بیشترین همبستگی را با آن دارد، به عنوان محل رخداد پالس PD تعیین می‌شود.الگوریتم تشخیص محل تخلیه جزئی در شکل (۵) نشان داده شده است.

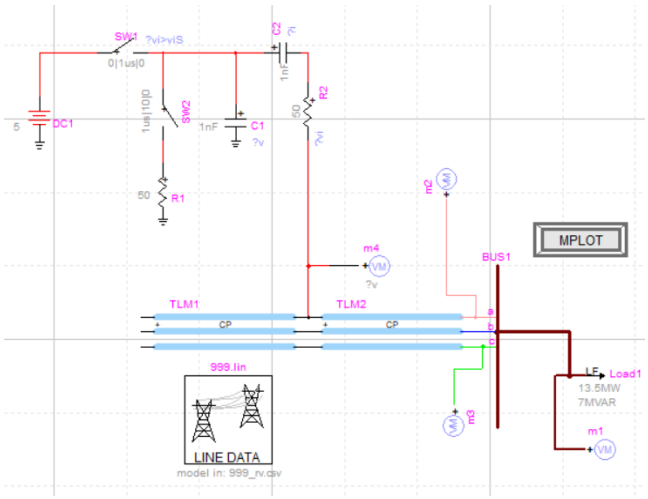
۴-۱. اعمال پالس PD در محل تیرهای خط CC

برای شبیه سازی خط CC در نرم افزار EMTP-RV از مدل خط CP سه فاز استفاده شده است و با داشتن پارامترهای محاسبه شده مربوط به هادی‌های روکش‌دار مطابق آنچه در بخش دوم روابط آن ارائه شد مدل خط CC ایجاد می‌شود و سپس با استفاده از مولد پالس تخلیه جزئی ارائه شده در بخش سوم، در محل تیرهای خط به طول یک کیلومتر که با فاصله ۵۰ متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند؛ اطلاعات تکمیلی مربوط به هادی و خط در جدول (۱) آمده است.

شکل موج یک پالس PD مطابق شکل (۶) در محل تیرها، -بعنوان سیگنال‌های مرجع- اعمال می‌شود و در انتهای خط سیگنال ولتاژ اندازه‌گیری و ضبط می‌شود. در واقع خط CC به دو قسمت با متراژهای مختلف تصادفی تقسیم شده است که مجموع این دو متراژ برابر طول خط می‌باشد و موج PD ساخته شده به محل اتصال این دو خط اعمال می‌شود. در ادامه دو نمونه از سیگنال‌های ضبط شده ناشی از اثر پالس PD اعمال شده در محل تیرها آورده شده است (شکل‌های (۷) و (۸)).

جدول ۱. اطلاعات مربوط به خط و هادی

پارامتر	اندازه	پارامتر	اندازه
شعاع هادی	۵ mm	طول خط	۱km
فاصله دو فاز مجاور	۶۰cm	فاصله بین دو تیر مجاور	۵۰ m
فاصله هادی تا زمین	۱۲ m	عدد دی الکتریک عایق CC	۲/۶



شکل ۶. ولتاژ اعمالی به نقطه ای تصادفی از خط CC

بدین ترتیب با اعمال PD در محل هر تیر، ۲۰ عدد سیگنال مرجع بدست می‌آید. این ۲۰ تا سیگنال با نام‌های $R_1,R_2,...,R_{20}$ نامگذاری شده‌اند که برای نمونه تبدیل فوریه سریع سیگنال ناشی از خطای ایجاد شده در محل تیر اول در شکل (۷) آورده شده است. سپس با ایجاد ۴۰ پالس PD در نواحی مختلف خط و اندازه‌گیری سیگنال در انتهای خط، سیگنال‌های تست بدست می‌آیند. این چهل سیگنال $T_1,T_2,...,T_{40}$ نامگذاری می‌شوند. از این ۴۰ نمونه نیز تبدیل فوریه سریع گرفته می‌شود.

سپس با استفاده از الگوریتم تشخیص محل رخداد PD نشان داده شده در شکل (۵) محل وقوع تخلیه جزئی (شماره تیر برق مورد نظر) تشخیص داده می‌شود. برای نشان دادن کارآیی روش پیشنهادی سه حالت زیر در نظر گرفته شده است:

حالت اول: در این حالت برای استخراج سیگنال‌های تست، پهنای پالس PD اعمال شده به نقاط مختلف خط CC با پهنای پالس PD اعمال شده در محل تیرها یکسان می‌باشد به عبارت دیگر برای استخراج سیگنال‌های مرجع و سیگنال‌های تست از PD با پهنای

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

پالس یکسان استفاده شده است. نتایج در جدول (۲) ارائه شده است.

همانطور که از جدول (۲) مشخص است تمامی محل‌های وقوع تخلیه جزئی (شماره تیر برق نزدیک به محل افتادن درخت) به درستی تشخیص داده شده است. به عنوان مثال، برای نمونه T_{19} سیگنال PD در فاصله ۴۶۴ متری از ابتدای خط اعمال شده است که روش پیشنهادی محل تیر برق نزدیک به آن را تیر شماره ۱۰ تشخیص داده است در واقع تیر شماره ۱۰ در میانه بازه فاصله ۴۰۰ متر تا ۵۰۰ قرار گرفته است که محل رخ دادن PD را شامل می‌شود (شکل (۱۰))

حالت دوم: در این حالت برای استخراج سیگنال‌های تست، پهنای پالس PD اعمال شده با پهنای پالس PD مربوط به سیگنال‌های تست متفاوت در نظر گرفته شده است. پهنای پالس PD اعمالی جهت استخراج سیگنال‌های تست دو برابر پهنای پالس PD مربوط به سیگنال‌های مرجع می‌باشد. در این حالت دامنه سیگنال پالس PD ثابت در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده در جدول (۳) آمده است. همانطور که از جدول (۳) مشخص است از بین ۴۰ مورد تنها ۲ مورد و آن هم با فاصله تنها یک تیر محل تقریبی تشخیص داده شده است و در بقیه موارد کاملا صحیح تشخیص داده شده است. البته هر چقدر تعداد سیگنال نمونه اولیه بیشتر باشد دقت تعیین تیر برق مورد نظر بالاتر می‌رود.

حالت سوم: در این حالت پهنای پالس و همچنین دامنه استخراج سیگنالهای تست، با در نظر گرفتن محل‌های تصادفی و مقادیر مختلف دامنه و پهنای باند شکل موج جریان PD می‌باشد، بدین صورت که پهنای پالس PD اعمالی سیگنالهای تست نصف، دو برابر و سه برابر پهنای پالس PD اعمالی سیگنال‌های مرجع و همچنین دامنه پالس PD مقادیر مختلف در نظر گرفته شده است و نتایج حاصل از بررسی و مقایسه همبستگی سیگنالهای تست با سیگنالهای مرجع در جدول (۴) آورده شده است.

مشاهده می‌شود که در این حالت نیز حتی با توجه به اینکه سیگنالهای تست همگی ناشی از پالسهای PD با پهنا و دامنه متفاوت بودند، نتیجه مقایسه همبستگی سیگنالهای تست با سیگنالهای مرجع مطلوب بوده و عملکرد الگوریتم برای تشخیص محل رخداد PD در خط CC همانند دو حالت قبل مطلوب می‌باشد. به عنوان مثال برای سیگنال تست شماره ۱۷ که تخلیه جزئی در فاصله ۷۴۱ متری رخ داده است محل تشخیص داده شده تیر شماره ۱۵ (R_{15}) بوده است که در فاصله ۷۵۰ متری مابین فاصله۷۰۰ متری الی ۸۰۰ متری ابتدای خط قرار دارد و مانند حالت دوم، حداکثر با بررسی و بازدید بصری ۱۰۰متر یعنی به اندازه دو تیر برق قبل و بعد از محل تعیین شده توسط الگوریتم، صدرصد می‌توان محل دقیق رخداد PD و عامل ایجاد آن در خط CCرا شناسایی کرد و اقدام به برطرف کردن آن نمود.

۵. نتیجه‌گیری

تخلیه جزئی ناشی از سقوط درختان یا تماس شاخ و برگ آن‌ها با هادی‌های روکش‌دار یکی از عومل مهم در پیری زودهنگام عایق آن می‌باشد. در صورتی که این تخلیه جزئی به موقع تشخیص داده نشود می‌تواند بعد از گذشت زمانی منجر به ایجاد خطای اتصال کوتاه شود. در این مقاله برای اولین بار به محاسبه ماتریس امپدانس توالی خط CC پرداخته است و سپس روابط تحلیلی خازن‌های خودی و متقابل، خازن‌های توالی صفر، مثبت و منفی خط سه فاز دارای هادی روکش‌دار با داشتن مشخصات فیزیکی آنEMTP نظیر شعاع هادی و ارتفاع آن از سطح زمین و فاصله فازها ارائه شده است. سپس به کمک روابط ارائه شده خطسه فاز CC در

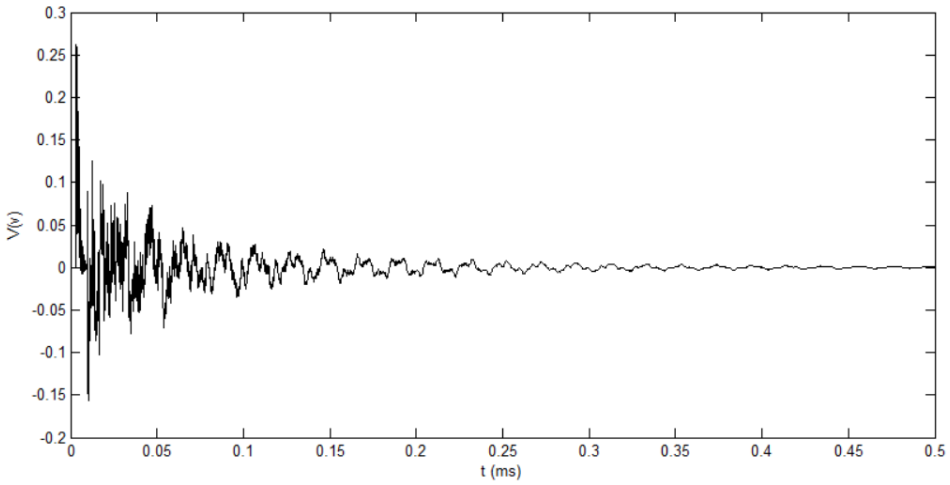
[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

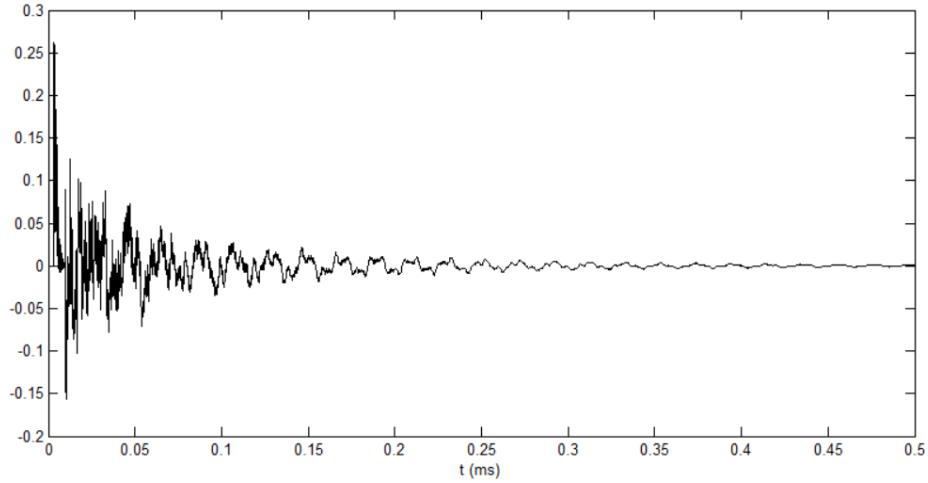
نرم‌افزارEMTP مدلسازی شده است و به کمک مدل بدست آمده و ایجاد پالس‌های تصادفی PD و استفاده از روش همبستگی متقابل مکان وقوع تخلیه جزئی با دقت بسیار خوبی تشخیص داده شده است تا پس از تشخیص مکان وقوع تخلیه جزئی جهت پیشگیری از خطاهایی که ممکن است در اثر کاهش قدرت عایقی روکش خط CC با گذشت زمان به‌وجود آید و منجر به قطعی برق مشترکین شود به کمک گروههای تعمیرات و نگهداری بتوانند از طریق بازدیدهای بصری مانع موجود بر هادی برقدار را برطرف نمایند.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

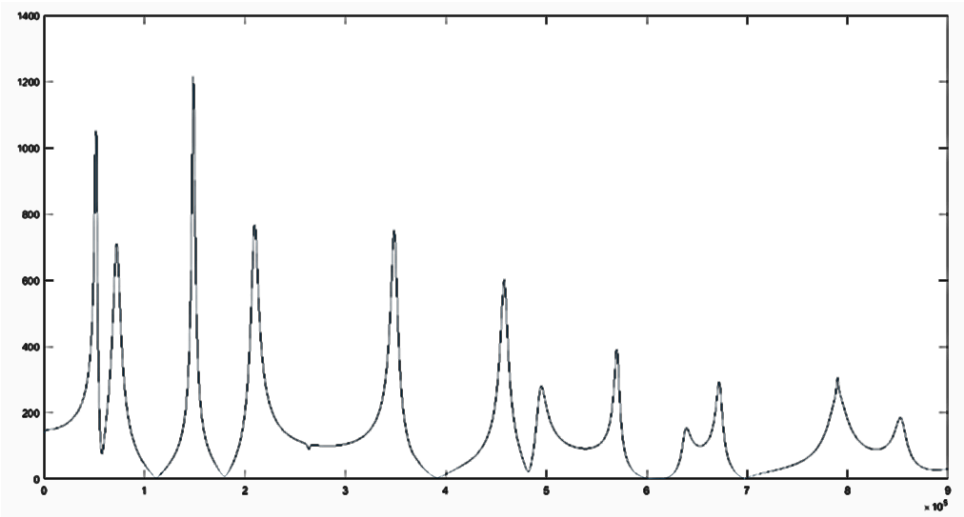
[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]



شکل ۷. سیگنال ضبط شده در انتهای خط ناشی از اعمال پالس در محل تیر اول



شکل ۸. سیگنال ضبط شده در انتهای خط ناشی از اعمال پالس در محل تیر دوازدهم



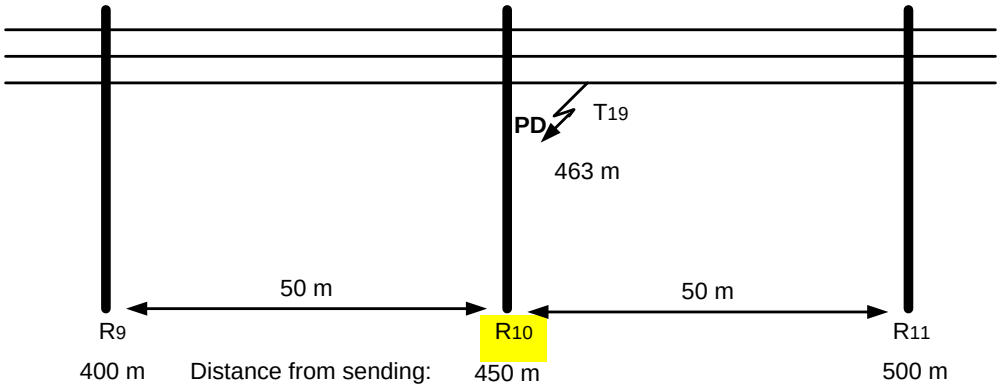
شکل ۹. تبدیل فوریه سیگنال ضبط شده ناشی از اعمال PD در تیر اول

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

جدول ۲. نتایج بدست آمده برای حالت اول

سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده
T_1	۱۵	R_1	T_{11}	۲۷۰	R_5	T_{21}	۵۲۳	R_{10}	T_{31}	۷۶۹	R_{15}
T_2	۴۳	R_1	T_{12}	۲۹۶	R_6	T_{22}	۵۴۳	R_{11}	T_{32}	۷۹۹	R_{16}
T_3	۵۶	R_1	T_{13}	۳۰۵	R_6	T_{23}	۵۶۷	R_{11}	T_{33}	۸۳۶	R_{17}
T_4	۸۷	R_2	T_{14}	۳۴۵	R_7	T_{24}	۵۹۵	R_{12}	T_{34}	۸۴۰	R_{17}
T_5	۱۲۰	R_2	T_{15}	۳۶۰	R_7	T_{25}	۶۱۳	R_{12}	T_{35}	۸۵۰	R_{17}
T_6	۱۳۴	R_2	T_{16}	۳۸۵	R_8	T_{26}	۶۳۸	R_{13}	T_{36}	۸۸۸	R_{18}
T_7	۱۶۳	R_3	T_{17}	۴۳۵	R_9	T_{27}	۶۶۶	R_{13}	T_{37}	۹۲۵	R_{19}
T_8	۱۷۶	R_3	T_{18}	۴۴۴	R_9	T_{28}	۶۸۸	R_{14}	T_{38}	۹۳۷	R_{19}
T_9	۲۰۳	R_4	T_{19}	۴۶۴	R_9	T_{29}	۷۰۹	R_{14}	T_{39}	۹۵۵	R_{19}
T_{10}	۲۴۷	R_5	T_{20}	۴۸۳	R_{10}	T_{30}	۷۴۱	R_{15}	T_{40}	۹۹۰	R_{20}



شکل ۱۰. محل وقوع PD و تشخیص روش پیشنهادی

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

جدول ۳. نتایج دست آمده برای حالت دوم

سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده
T_1	۱۵	R_1	T_{11}	۲۷۰	R_5	T_{21}	۵۲۳	R_{10}	T_{31}	۷۶۹	R_{15}
T_2	۴۳	R_1	T_{12}	۲۹۶	R_6	T_{22}	۵۴۳	R_{11}	T_{32}	۷۹۹	R_{16}
T_3	۵۶	R_1	T_{13}	۳۰۵	R_6	T_{23}	۵۶۷	R_{11}	T_{33}	۸۳۶	R_{17}
T_4	۸۷	R_2	T_{14}	۳۴۵	R_7	T_{24}	۵۹۵	R_{12}	T_{34}	۸۴۰	R_{17}
T_5	۱۲۰	R_1	T_{15}	۳۶۰	R_7	T_{25}	۶۱۳	R_{12}	T_{35}	۸۵۰	R_{17}
T_6	۱۳۴	R_2	T_{16}	۳۸۵	R_8	T_{26}	۶۳۸	R_{13}	T_{36}	۸۸۸	R_{16}
T_7	۱۶۳	R_3	T_{17}	۴۳۵	R_9	T_{27}	۶۶۶	R_{13}	T_{37}	۹۲۵	R_{18}
T_8	۱۷۶	R_3	T_{18}	۴۴۴	R_9	T_{28}	۶۸۸	R_{14}	T_{38}	۹۳۷	R_{18}
T_9	۲۰۳	R_4	T_{19}	۴۶۴	R_9	T_{29}	۷۰۹	R_{14}	T_{39}	۹۵۵	R_{18}
T_{10}	۲۴۷	R_5	T_{20}	۴۸۳	R_{10}	T_{30}	۷۴۱	R_{15}	T_{40}	۹۹۰	R_{20}

$$V_a = \frac{1}{2}V_{aa'} = \frac{q_a}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{a+\Delta L}{a} + \ln\frac{H-a}{H-a-\Delta L}\right] + \frac{q_a}{4\pi\varepsilon}\left[\ln\frac{H-a-\Delta L}{a+\Delta L}\right]$$
$$+ \frac{q_b}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\frac{d-a-\Delta L}{d-a} + \ln\frac{D-a}{D-a-\Delta L}\right] + \frac{q_b}{4\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{D-a-\Delta L}{d-a-\Delta L}\right] + \frac{q_c}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{2d-a-\Delta L}{2d-a} + \ln\frac{M-a}{M-a-\Delta L}\right]$$
$$+ \frac{q_c}{4\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{M-a-\Delta L}{2d-a-\Delta L}\right] - \frac{q_a}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{a}{a+\Delta L} + \ln\frac{H-a-\Delta L}{H-a}\right] - \frac{q_a}{4\pi\varepsilon}\left[\ln\frac{a+\Delta L}{H-a-\Delta L}\right] \quad (۱۲)$$
$$- \frac{q_b}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\frac{d-a}{d-a-\Delta L} + \ln\frac{D-a-\Delta L}{D-a}\right] - \frac{q_b}{4\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{d-a-\Delta L}{D-a-\Delta L}\right] - \frac{q_c}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{2d-a}{2d-a-\Delta L} + \ln\frac{M-a-\Delta L}{M-a}\right]$$
$$- \frac{q_c}{4\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{2d-a-\Delta L}{M-a-\Delta L}\right]$$

$$V_a = \frac{q_a}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{a+\Delta L}{a} + \ln\frac{H-a}{H-a-\Delta L}\right] + \frac{q_a}{2\pi\varepsilon}\left[\ln\frac{H-a-\Delta L}{a+\Delta L}\right] + \frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\frac{d-a-\Delta L}{d-a} + \ln\frac{D-a}{D-a-\Delta L}\right]$$
$$+ \frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{D-a-\Delta L}{d-a-\Delta L}\right] + \frac{q_c}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{2d-a-\Delta L}{2d-a} + \ln\frac{M-a}{M-a-\Delta L}\right] + \frac{q_c}{2\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{M-a-\Delta L}{2d-a-\Delta L}\right] \quad (۱۳)$$

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

$$V_b = \frac{q_a}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\frac{d-a-\Delta L}{d-a}+\ln\frac{D-a}{D-a-\Delta L}\right]+\frac{q_a}{2\pi\varepsilon}\left[\ln\frac{D-a-\Delta L}{d-a-\Delta L}\right]+\frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{a+\Delta L}{a}+\ln\frac{H-a}{H-a-\Delta L}\right] + \frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0}+\left[\ln\frac{H-a-\Delta L}{a+\Delta L}\right]+\frac{q_c}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{d-a-\Delta L}{d-a}+\ln\frac{D-a}{D-a-\Delta L}\right]+\frac{q_c}{2\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{D-a-\Delta L}{d-a-\Delta L}\right] \quad (۱۴)$$

$$V_c = \frac{q_a}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\frac{2d-a-\Delta L}{2d-a}+\ln\frac{M-a}{M-a-\Delta L}\right]+\frac{q_a}{2\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{M-a-\Delta L}{2d-a-\Delta L}\right]+\frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\frac{d-a-\Delta L}{d-a}+\ln\frac{D-a}{D-a-\Delta L}\right] + \frac{q_b}{2\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{D-a-\Delta L}{d-a-\Delta L}\right]+\frac{q_c}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_r}\left[\ln\frac{a+\Delta L}{a}+\ln\frac{H-a}{H-a-\Delta L}\right]+\frac{q_c}{2\pi\varepsilon_0}\left[\ln\frac{H-a-\Delta L}{a+\Delta L}\right] \quad (۱۵)$$

جدول ۴. نتایج مکان‌یابی تخلیه جزئی برای حالت سوم

سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده	سیگنال تست	محل اعمال PD در خط CC	محل تشخیص داده شده
T_1	۱۵	R_1	T_{11}	۲۷۰	R_5	T_{21}	۵۲۳	R_{10}	T_{31}	۷۶۹	R_{15}
T_2	۴۳	R_1	T_{12}	۲۹۶	R_6	T_{22}	۵۴۳	R_{11}	T_{32}	۷۹۹	R_{16}
T_3	۵۶	R_1	T_{13}	۳۰۵	R_6	T_{23}	۵۶۷	R_{11}	T_{33}	۸۳۶	R_{17}
T_4	۸۷	R_2	T_{14}	۳۴۵	R_7	T_{24}	۵۹۵	R_{12}	T_{34}	۸۴۰	R_{17}
T_5	۱۲۰	R_1	T_{15}	۳۶۰	R_7	T_{25}	۶۱۳	R_{12}	T_{35}	۸۵۰	R_{17}
T_6	۱۳۴	R_2	T_{16}	۳۸۵	R_8	T_{26}	۶۳۸	R_{13}	T_{36}	۸۸۸	R_{16}
T_7	۱۶۳	R_3	T_{17}	۴۳۵	R_9	T_{27}	۶۶۶	R_{13}	T_{37}	۹۲۵	R_{18}
T_8	۱۷۶	R_3	T_{18}	۴۴۴	R_9	T_{28}	۶۸۸	R_{14}	T_{38}	۹۳۷	R_{18}
T_9	۲۰۳	R_4	T_{19}	۴۶۴	R_9	T_{29}	۷۰۹	R_{14}	T_{39}	۹۵۵	R_{18}
T_{10}	۲۴۷	R_5	T_{20}	۴۸۳	R_{10}	T_{30}	۷۴۱	R_{15}	T_{40}	۹۹۰	R_{20}

مراجع

Adhikari, N. (2021, March). Analysis of Partial Discharge Measurements on Medium Voltage Covered Conductor for Overhead Transmission Lines. In 2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) (pp. 1-5). IEEE.

Anderson P., (1995), *Analysis of Faulted Power Systems, Jhon Wiley, IEEE book series*.

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

conductor overhead distribution networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, *43*(1), 1185-1192.

He, W., Li, H., Liang, D., Sun, H., Yang, C., Wei, J., & Yuan, Z. (2015). Implementation of a novel double-side technique for partial discharge detection and location in covered conductor overhead distribution networks. Measurement Science and Technology, 26(12), 125009.

Isa, M., Elkalashy, N. I., Hashmi, G. M., & Lehtonen, M. (2012). Experimental evaluation of Rogowski coil performance for locating PD in energized overhead covered-conductor feeder. Journal of Energy and Power Engineering, 6(6), 949-959.

Kiitam, I., Taklaja, P., & Tuttelberg, K. (2018, May). Voltage withstand properties of the insulation of different types of medium voltage covered overhead line conductors. In 2018 19th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE) (pp. 1-4). IEEE.

Kreuger F. H., "Discharge detection in high voltage equipment," 1989.

Li, H., Cui, X., Wang, H., Yan, Y., Lu, Y., & Zhao, K. (2020, December). A Novel Partial Discharge Locating System for 10-kV Covered Conductor Lines in Distribution Network. In *2020 10th International Conference on Power and Energy Systems (ICPES)* (pp. 379-383). IEEE.

Misák, S., Fulnecek, J., Vantuch, T., Buriánek, T., & Jezowicz, T. (2017). A complex classification approach of partial discharges from covered conductors in real environment. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, *24*(2), 1097-1104.

Caliari, G. (2020). High voltage covered conductor overhead lines: detection of incipient tree faults.

Chen, K., Vantuch, T., Zhang, Y., Hu, J., & He, J. (2020). Fault Detection for Covered Conductors With High-Frequency Voltage Signals: From Local Patterns to Global Features. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *12*(2), 1602-1614.

Cheng, D. K. *Field and Wave Electromagnetics: Pearson New International Edition*. Pearson Education, Incorporated, 2013.

Dong, M., & Sun, J. (2020). Partial discharge detection on aerial covered conductors using time-series decomposition and long short-term memory network. *Electric Power Systems Research*, *184*, 106318.

El-Shaarawy, Z., Talaat, M., & El-Zein, A. (2021). Field reduction simulation based on covered conductors design in medium voltage lines. *Results in Engineering*, *10*, 100217.

Hashmi, G. M., Papazyan, R., & Lehtonen, M. (2007, April). Comparing wave propagation characteristics of MV XLPE cable and covered-conductor overhead line using time domain reflectometry technique. In *2007 International Conference on Electrical Engineering* (pp. 1-6). IEEE.

Hashmi, G. M. (2008). *Partial discharge detection for condition monitoring of covered-conductor overhead distribution networks using Rogowski coil*. Teknillinen korkeakoulu.

Hashmi, M., Lehtonen, M., Nordman, M., Jabbar, R. A., & Qureshi, S. A. (2012). Wavelet-based de-noising of on-line PD Signals captured by Pearson coil in covered-

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]

analysis: theory and practice. Elsevier.

www.emtp.com

شیفر، ا، اوپنهایم، ر، (۱۳۹۸)، پردازش سیگنال گسسته در زمان، چاپ پنجم، انتشارات نص، تهران.

کومار، آ، (۱۳۹۵) سیگنال‌ها و سیستم‌ها، چاپ اول ، انتشارات صفار، تهران.

نوبخت، ع؛ شمشیری، ه. (۱۳۹۷) راهنمای اجرای شبکه های هادی روکش‌دار؛ چاپ اول، انتشارات نوید شیراز، شیراز.

Pakonen, P. (2007). *Detection of incipient tree faults on high voltage covered conductor lines*. Tampere University of Technology.

Peng, X., Zhou, C., Hepburn, D. M., Judd, M. D., & Siew, W. H. (2013). Application of K-Means method to pattern recognition in on-line cable partial discharge monitoring. *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, *20*(3), 754-761..

Shafiq, M., Hussain, G. A., Kütt, L., & Lehtonen, M. (2014). Effect of geometrical parameters on high frequency performance of Rogowski coil for partial discharge measurements. *Measurement*, *49*, 126-137.

Tleis, N. (2007). *Power systems modelling and fault*

[Downloaded from ieijqp.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.23222344.1401.11.1.7.9]