sina-pub.ir

تحلیل روش محاسبه جریان مدار کوتاه در طراحی نیروگاه بادی

چکیده: به خاطر تفاوت های موجود بین نیروگاه بادی و نیروگاه معمولی در مدل ریاضی و ساختار شبکه، این امر منجر به اختلاف زیادی بین نتایج کارکردی به ترتیب به ازای روش عملی محاسبه جریان مدار کوتاه نرمال و روش آی..ایی.سی 60909بین المللی معروف در طراحی مهندسی می گردد. لذا این مقاله به تحلیل تفاوت های بین دو روش پرداخته و روش عملی بهبود یافته ای مطرح می کند. سرانجام آنکه با مدل سازی ساده خطوط جمع آوری، کارایی و تحقق این روش مورد تایید داده های حقیقی و نتایج شبیه سازی ایی.تی.ای.پی نیروگاه بادی می باشد.این روش چند ایده برای برقراری استانداردهای یکسان روش محاسبه جریان مدار کوتاه نیروگاه بادی در کشور ما مطرح می کند.

واژگان کلیدی: محاسبه مدار کوتاه، روش محاسبه عملی، آی.ایی.سی 60909، نیروگاه قدرت بادی.

1-مقدمه

در حال حاضر، انرژی پاک مورد توجه زیاد کشورهای سراسر جهان واقع گردیده است. و با نوآوری بی وقفه فناوری، رشد نیروی باد توجه سطح جهانی به خود جلب نموده است(1و2). به هر حال، تفاوت های زیادی بین نیروگاه بادی و نیروگاه معمولی در چیدمان واحد، ساختار سیستم، پیکربندی سیستم و انتخاب تجهیزات وجود دارد (3) و لذا فعالیت نیروگاه معمولی را نمی توان به طور کامل در طراحی نیروگاه بادی کپی برداری نمود تا از خطاهای طراحی عمده پیشگیری کرد.

در طراحی مهندسی نیروی الکتریکی، محاسبه جریان مدار کوتاه مبنای انتخاب تجهیزات الکتریکی، انتخاب هادی جریان برق، تنظیمات و بررسی محافظت از دستگاه تقویتی بوده و نتایج به طور مستقیم بر ایمنی سیستم الکتریکی، اعتبار و هزینه پروژه تاثیر می گذارند. (6-4) به تحلیل تاثیرات مدل های توربین بادی مختلف بر جریان مدار کوتاه پرداخته و عبارت های متناظری به دست آوردند که در کاربرد مهندسی حقیقی توان فرسا بود. به هر حال استاندارد واحدی برای تحلیل یا محاسبه جریان مدار کوتاه نیروگاه بادی در داخل و خارج وجود ندارد.در کشورهای خارجی، روش محاسبه جریان مدار کوتاه بر اساس استاندارد آی.ایی.سی 60909 (روش آی.ایی.سی 60909) معمولا به

sina-pub.ir

کار می رد (9-7) در حالی که روش محاسبه جریان مدار کوتاه در استاندارد ملی (روش عملی) در کشور ما اتخاذ می گردد (10). به خاطر مدل ها و روش های محاسبه مختلف، نتایج محاسبه مدار کوتاه نیروگاه بادی کاملا مختلف اند. لذا تشابه ها و اختلاف های دو روش تحلیل گردد آنگاه روش محاسبه عملی مهندسی بهبود یافته در این مقاله مطرح گردید و کارایی این روش مورد تایید داده های حقیقی نیروگاه بادی و ایی.تی.ای.پی واقع گردید.

دو. روش محاسبه جریان مدار کوتاه در طراحی نیروگاه بادی

ساختار سیستم جمع کننده و مولد اختلاف عمده بین نیروگاه عادی و نیروگاه بادی است. در حال حاضر، مدل های جریان اصلی نیروگاه بادی به طور دوگانه با مولد القاگر و مولد همزمان آهنربا دائمی تغذیه می شوند که با توربین سنتی از همانند توربین بخار و توربین آبی به لحاظ ساختار واحد و مدل محاسبه فرق می کند. و سیم کشی مولد در کل در ساختار زنجیره ای درون نیروگاه بادی است در حالی که نوع سیم کشی واحد آن درون نیروگاه سنتی است. لذا این مقاله به تحلیل شیوه محاسبه جریان مدار کوتاه نیروگاه بادی پرداخته و روش محاسبه عملی بهبود یافته مطرح می کند که برای فعلیت مهندسی مناسب تر است.این بخش متمرکز بر تحلیل مدل تامین نیرو و مولد نیروی بادی است.

الف. روش عملی

هنگام محاسبه جریان مدار کوتاه سیستم نیرو با روش عملی، امپدانس تمامی تجهیزات (واکنش به جای امپدانس در محاسبه به کار می رود تا محاسبه ساده سازی شود) که در شبکه به عنوان ارزش به ازای واحد متناظر محاسبه می شود که بر طبق ارزش مرجع نیرو متحد صرف از بار شبکه است. سپس شبکه سیستم معادل طراحی می گردد، شبکه ساده سازی می شود و واکنش انتقال به دست آمده و جریان مدار کوتاه هر تامین نیرو برای نقطه خطا به دست آمده و ارزش کل جریان مدار کوتاه را می توان با خلاصه بندی حاصل نمود.

در روش عملی، جریان مدار کوتاه با دو نوع تامین نیرو، به نام تامین نیرو سیستم نامتناهی و تامین نیرو محدود فراهم می شود:

sina-pub.ir

برای سیستم دارای ظرفیت نامحدود تامین نیرو، ولتاژ تامین نیرو در طی مدار کوتاه ثابت نگه داشته می شود و ارزش هر واحد ولتاژ برابر 1.0 است. جریان مدار کوتاه و تکانه های مدار کوتاه طبق زیر مطرح می شوند:

$$I_k^* = \frac{1}{x_*} \cdot \frac{S_d}{\sqrt{3}U_d} \quad (1)$$

$$i_{sh} = k_{sh}\sqrt{2}I_k^* \quad (2)$$

$$\kappa = 1 + e^{-0.01/T_a} \quad (3)$$

که در آن I_k^* جریان مدار کوتاه متقارن اولیه می باشد. $x*$ برابر واکنش به مدار کوتاه است (انـدیس * نشـان مـی دهد که متغییر ارزش هر واحد است)؛ S_d ظرفیت مرجع است؛ U_d ولتاژ مرجع در نقطه خطا است؛ i_{sh} جریان تکانـه مدار کوتاه است؛ k_{sh} عامل تاثیر می باشد؛ $T_a = X_\Sigma / \omega R_\Sigma$ مقدار ثابت زمانی است؛ X_Σ و به R_Σ به ترتیـب واکـنش مـدار کوتاه و مقاومت اند.

برای سهولت در محاسبات مهندسی، k_{sh} مقادیر مختلفی به طور مستقیم بر طبق نقاط مدار کوتاه مختلف به جـای استفاده از (3) به خود می گیرد. هنگامی که نقطه مدار کوتـاه مکـان ولتـاژ بـالای ترانسـفورمر در نیروگـاه اسـت، k_{sh} =1.85؛ هنگامی که نقطه مدار کوتاه محل دیگر شبکه نیرو ولتاژ بالا باشد، k_{sh} =1.8.

به ازای سیستمی با ظرفیت تامین نیرو محدود، در کل از روش منحنی محاسبه استفاده می شود. چون منابع زیادی وجود دارد که این روش را توصیف می کنند، آنها در این مقاله بررسی نخواهند شد. به طـور ویـژه ظرفیـت محـدود تامین نیرو می تواند به عنوان ظرفیت نامتناهی تامین نیرو تلقی شود هنگامی که $x_* > 3.45$.

در روش عملی، واکنش معادل سیستم تغذیه کننده بر اساس (4) برآورد می گردد که نیز در (10) مطرح است.

$$x_{s*} = S_d / S_k \quad (4)$$

که در آن S_k ظرفیت جریان مدار کوتاه مخزن تقسیم کننده سیستم تغذیه کننده است. مولد نیروی باد با موتور ولتاژ بالا پردازش می شود و جریان مدار کوتاه و جریان تاثیر مدار کوتاه را می توان بر اساس 5و6 برآورد نمود.

$$I_{kM}^* = \frac{1}{x_{M*}} \cdot I_{MN} \quad (5)$$

$$i_{shM} = k_{shM}\sqrt{2}I_{kM}^* \quad (6)$$

sina-pub.ir

که در آن x_M ارزش هر واحد واکنش موتور است که معادل معکوس نسبت جریان شروع کننده؛ I_{MN} جریان رده بندی موتور، و عامل تاثیر کلی برابر 1.6-1.4 است که در این مقاله 1.5 برآورد می شود. این مدل و فرمول دیگر تجهیزات الکتریکی همانند ترانسفورمرها، کابل ها و خطوط هوایی و غیره می توانند در استاندارد ملی یافت شوند. و این مقاله آنها را تکرار نخواهد کرد که به خاطر محدودیت در فضا می باشد.

ب. روش آی.ایی.سی 60909

در کمیسیون الکتریکی بین المللی، آخرین استانداردهای اعلام شده منبع ولتاژ معادل در محل مدار کوتاه برای محاسبه به کار می رود. منبع ولتاژ معادل $(cU_N/\sqrt{3})$ تنها ولتاژ فعال سیستم است. تمامی تغذیه دهندگان شبکه، دستگاه های همزمان و غیر همزمان جایگزین امپدانس های داخلی خود می شوند. امپدانس های تمامی تجهیزات در شبکه به عنوان مقادیر حقیقی به جای ارزش به ازای هر واحد محاسبه می شوند. سپس شبکه طراحی و ساده سازی می شود تا امپدانس مدار کوتاه و جریان مدار کوتاه، و جریان تکانه مدار کوتاه به دست آید همانطور که در 10-7 نشان داده شده است.

$$I_k^{"} = \frac{cU_N}{\sqrt{3}Z_k} \quad (7)$$

$$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} \quad (8)$$

$$i_{sh} = \kappa\sqrt{2}I_k^{"} \quad (9)$$

$$\kappa = 1.02 + 0.98e^{-3R_k/X_k} \quad (10)$$

که در آن U_N ولتاژ رده بندی شده نقطه خطا؛ c ضریب ولتاژ متناظر با U_N ؛ $Z_k^{"}$ امپدانس مدار کوتاه؛ K ضریب تاثیر بوده که بر اساس 10 می تواند برآورد گردد، X_k و R_k به ترتیب واکنش مدار کوتاه و مقاومت هستند. در روش آی.ایی.سی 60909 در لحظه محاسبه ماکسیمم جریان مدار کوتاه، cمعادل 1.05 یا 1.1 در سیستم های ولتاژ پایین است (100V~1000V) و 1.1 در سیستم های میانی و بالا است .(>1kV).

sina-pub.ir

ضریب تناسب و فرمول های محاسباتی مختلف برای محاسبه امپدانس های تجهیزات الکتریکی به کار می روند. تنها سیستم تغذیه کننده و مولد نیروی باد در این مقاله توصیف می شوند، تجهیزات دگیرا را می تـوان در ادبیـات (17) یافت. امپدانس معادل سیستم تغذیه کننده بر اساس (11) برآورد می شود.

$$Z_Q = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQ}} \qquad (11)$$

که در آن Z_Q امپدانس معادل تعدیل شده سیستم تغذیه کننده؛ U_{nQ} ولتاژ درجه بندی شده نقطه Q، I''_{kQ} جریـان مدار کوتاه نقطه Qاست. در کـل اگـر R_Q/X_Q ناشـناخته باشـد، $ZQ=0+jXQ$ هنگـامی $U_{nQ}>35kV$ ، در حـالی کـه $R_Q=0.1X_Q$ و $X_Q=0.995R_Q$ برای برآورد مقاومت و واکنش به کار می روند هنگامی که $U_{nQ}<35kV$. مولد نیـروی باد با موتور ولتاژ بالا پردازش می شود و امپدانس جریان کوتاه آن را می توان بر اساس 12 برآورد نمود.

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3}I_{rM}} \qquad (12)$$

کـه در آن Z_M امپـدانس موتـور، U_{rM} ولتـاژ رده بنـدی شـده موتـور، IrM برابـر جریـان رده بنـدی شـده موتـور، I_{LR}/I_{rM}نسبت جریان موتور قفل شده به جریان رده بندی شده موتور است. اگر R_M/X_M ناشـناخته باشـد، مقاومـت و واکنش موتور را می توان بر اساس 13 برآورد کرد.

$$\begin{cases} R_M = 0.1X_M, U > 1kV, P_{rM} \geq 1MW \\ R_M = 0.15X_M, U > 1kV, P_{rM} < 1MW \\ R_M = 0.42X_M, U < 1kV \end{cases} \qquad (13)$$

که در آن R_M و X_M مقاومت و واکنش موتور به ترتیب هستند؛ P_{rM} قدرت رده بندی شده موتور بـه ازای هـر جفـت قطب ها هستند. این مدل و فرمول دیگر تجهیزات الکتریکی همانند ترانسفورمرها، کابل ها، خطوط هوایی و غیـره را می توان در استاندارد آیی.ایی.سی 60909 یافت. و این مقاله آنها را به خاطر محدودیت در فضا تکرار نمی کند.

پ.روش محاسبه محدود

sina-pub.ir

تاثیر مقاومت بر نتیجه و محاسبه ضریب تاثیر جریان کوتاه در روش عملی نادیده گرفته می شود، دقت نتایج محاسبات شدیدا تحت تاثیر خواهند بود هر چند فرایند محاسبه ساده می شود. لذا روش عملی با سرعت محاسباتی سریع تر برای محاسبه تقریبی و سریع مناسب تر است. در مقایسه با روش عملی، ضریب اصلاح ولتاژ c، مقاومت، ضریب اصلاح و فرمول محاسبه تعدیل یافته در روش آی.ایی.سی 60909 در نظر گرفته می شود. ظاهرا نتایج محاسبات جامع تر بوده و با توجه به فرایند محاسبه پیچیده دقیق تر خواهد بود. لذا سرعت محاسبه روش آی.ایی.سی 60909 کند تر است به هر حال محاسبات مفصل و دقیق برای آن مناسب تر است. به ازای نظارت بر محاسبات، دقت محاسبه روش عملی بالا نیست، فرایند محاسبه روش آی.ایی.سی 60909 پیچیده است لذا روش محاسبه جریان مدار کوتاه بهبود یافته (روش ارتقا یافته) در این مقاله بر اساس شاخص دقت محاسبه و هدف محاسبه سریع و راحت پیشنهاد می گردد.

روش منبع ولتاژ معادل به کار رفته در روش آی.ایی.سی 60909 به طور مشابه در روش بهبود یافته به کار می رود. منبع تنها ولتاژ فعال سیستم است. پتانسیل الکتریکی تامین نیرو به عنوان صفر در نظر گرفته شده و با امپدانس داخلی جایگزین می گردد. پس از اینکه امپدانس تمامی تجهیزات در شبکه تنظیم گردید، آنها به عنوان ارزش به ازای واحد متناظر بر طبق مقدار مرجع نیرو متحد و یکسان محاسبه گردد. آنگاه شبکه ای را طراحی و ساده سازی نمایید تا امپدانس مدار کوتاه به دست آورید و جریان مدار کوتاه و جریان تکانه مدار کوتاه طبق شکل های 15-14 نشان داده شده است.

$$I''_{impk} = \frac{1}{Z_{k^*}} \cdot \frac{cS_d}{\sqrt{3}U_d} \qquad (14)$$

$$i_{impsh} = k_{impsh}\sqrt{2}I''_{impk} \qquad (15)$$

که در آن I''_{impk} جریان مدار کوتاه متقارن اولیه است (اندیس آی.ام.پی به معنای روش بهبود یافته است، c عامل ولتاژ بوده و مقدار آن همانند روش آی.ایی.سی 60909 است Z_{k^*} امپدانس مدار کوتاه؛ S_d ظرفیت مرجع؛ U_d ولتاژ مرجع در نقطه خطا؛ i_{impsh} جریان تکانه مدار کوتاه؛ و k_{impsh} ضریب تاثیر است.

sina-pub.ir

باید این نکته مهم را خاطر نشان نمود که نسبت مقاومت و واکنش مدار کوتاه به طور مشابه برابر 9999 است. بدین ترتیب عدد پیچیده ای در محاسبه وجود ندارد به طوری که فرایند محاسبه ساده سازی می شـود؛ از طرفـی دیگـر، واکنش و امپدانس حدودا به لحاظ مقدار بر طبق رابطه نشـان داده شـده در $|Z_{k1}|=\sqrt{R_{k1}^2+X_{k1}^2}\approx|X_{k1}|$ برابـر انـد، لـذا دقـت محاسبه نتایج قابل توجه است.

با تحلیل دو روش درفرمول های محاسبه جریان تاثیر مدار کوتاه، به راحتی می توان پی برد که ضریب تـاثیر عمـده برای محاسبه جریان مدار کوتاه بین روش عملی و روش آیی.ایی.سی 60909 ضریب تاثیر می باشد. لذا این مقالـه سعی دارد ارزش و مقدار ضریب تاثیر را در روش بهبود استنتاج نمود، که در جدول 1 نشان داده شده است تا سرعت محاسبه را بهبود بخشد. این شیوه شبیه روش عملی است.

جدول1- ضرایب تاثیر روش بهبود یافته

نقطه مدار کوتاه	نقطه خروج مولد	طرف ولتاژ بالا ترانسفورمر بسته	نقطه دیگر
k_{impsh}	1.53	1.86	1.81

در روش بهبود یافته، امپدانس معادل سیستم تغذیه دهنده بر اساس 16 برآورد می گردد.

$$Z_{imps*}=c\cdot S_d/S_k \qquad (16)$$

که در آن Z_{imps*} امپدانس سیستم تغذیه دهنـده؛ S_k ظرفیت مدار کوتاه منبع تقسیم کننده سیستم تغذیه می باشد. مولد نیروی باد با موتور ولتاژ بـالا پـردازش مـی شود و امپدانس مدار کوتاه آن طبق رابطه 17 داده می شود.

$$Z_{impM*}=\frac{1}{I_{LR}/I_{rM}}\cdot\frac{S_d}{S_{rM}} \qquad (17)$$

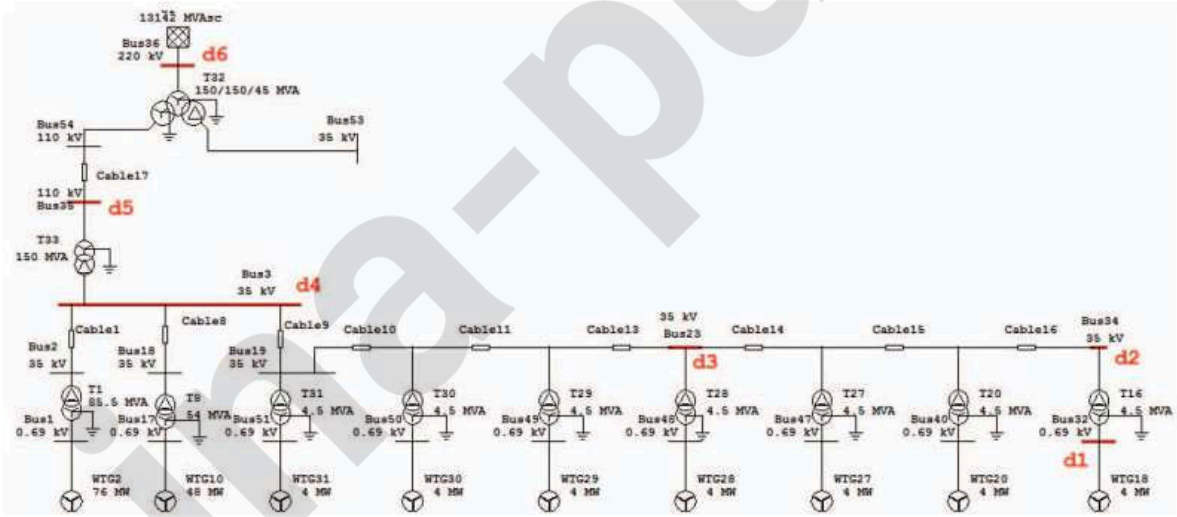
sina-pub.ir

که در آن Z_{impM^*} امپدانس مولد باد است؛ S_{rM} ظرفیت درجه بندی شده مولد؛ I_{rM} جریان درجه بندی شده مولـد؛ I_{LR}/I_{rM} نسبت جریان موتور قفل شده به جریان رده بندی شده مولد است.

مدل و فرمول دیگر تجهیزات الکتریکی را می توان به عنوان ارزش به ازای واحد تعدیل شده متناظر بر طبق مقـدار مرجع نیرو متح، همانند روش بالا برآورد نمود.

سه. شبیه سازی و نتایج

داده های نیروگاه بادی حقیقی تایید روش بهبـود یافتـه را بـا ایی.تی.ای.پـی انجـام داد. نیروگـاه بـادی حـاوی 38 دی.اف.آی.جی با ظرفیت مستقل 4MWبوده و ولتاژ خروجی مولد باد برابر 0.69kVاست. با فرم اتصال، « یک مولد و یک ترانسفورمر»، هر مولد نیروگاه بادی با ترانسفورمر بسته 4500Kva پیکربندی می شود. 38 دی.اف.آی.جی به 6 گروه تقسیم می شود، و به مخزن 35Kv ایستگاه فرعی خارج از ساحل نیروگاه بادی با 6 خط جمع آوری متصل بوده و سپس به مخزن 110kV ایستگاه فرعی خارج از ساحل نیروگاه بادی بـا 2 کابـل دریـایی متصـل اسـت و در نهایت به شبکه نیروی خارجی وصل می شود. به منظور ساده سازی محسبه، تنها یک سری واحدهای تولیـد حفـظ شدند و گروه های دیگر با روش معادل مطرح شده با (11) ساده سازی شدند. نمودار سیم کشی سیستم ساده سازی شده در شکل 1 نشان داده شده است.



شکل 1. نمودار سیم کشی عمده نیروگاه بادی معادل

sina-pub.ir

در شکل 1، خطوط قرمز نقاط جریان کوتاه اند که طبق زیر نشان داده شده اند: نقطه d1 مخـزن 32 اسـت، نقطـه خروجی مولد نیروگاه بادی، 0.69Kv؛

نقطه d2 نقطه مخزن 34، نقطه پایانه خط جمع آوری مجزا، 35Kv

نقطهd3 مخزن 23 است، نقطه میانی خط جمع آوری واحد 35kv

نقطه d4 برابر مخزن 3 است، طرف فشار پایین ایستگاه فرعی دور از ساحل35kv

نقطه d5 مخزن 35 است، طرف فشار بالا ایستگاه فرعی دور از ساحل11kv

نقطه d6 مخزن 36 است، طرف فشار بالا ایستگاه فرعی ساحلی (نقطه متصل به شبکه نیرو خارجی)، 220Kv

جریان مدار کوتاه متقارن نقاط بالا با استفاده از روش عملـی، روش بهبـود یافتـه و روش ایی.تی.ای.پـی بـه ترتیـب محاسبه شد.

جدول 2. نتایج محاسبه جریان مدار کوتاه

نقطه جریان کوتاه	روش محاسبه	جریان مدار کوتاه (kA)	جریان تکانه مدار کوتاه (kA)
d1 0.69kV	PM	72.41	173.83
	IM	**76.01**	**184.10**
	ETAP	77.62	179.98
d2 35kV	PM	6.57	16.926
	IM	**6.80**	**17.448**
	ETAP	7.249	12.10
d3 35kV	PM	9.07	23.49
	IM	**9.48**	**24.285**
	ETAP	10.02	17.94
d4 35kV	PM	20.49	52.16
	IM	**22.58**	**57.79**
	ETAP	22.87	56.84
d5 110kV	PM	6.92	17.605
	IM	**7.67**	**19.525**
	ETAP	7.76	19.53
d6 220kV	PM	35.30	89.86
	IM	**35.38**	**90.06**
	ETAP	35.39	94.42

sina-pub.ir

پس ازتحلیل نتایج محاسبه در جدول 2، دو نقطه طبق زیر مطرح شده اند:

الف- روش عملی فرایند محاسبه را ساده سازی می کند و آن ساده و راحت است، به هر حال، مقدار و ارزش محاسبه کوچک تر است، لذا روش عملی برای محاسبه خام و سریع مناسب تر است. روش آیی.یی.سی60909 دارای محاسبه مفصل است به هر حال فرایند ان توان فرسا و پیچیده بوده و ارقام محاسبه بزرگتر اند، لذا روش آی.ایی.سی 60909 برای محاسبه دقیق و مفصل مناسب تر است. نتایج محاسباتی روش بهبود یافته در این مقاله به نتایج شبیه سازی نزدیک تر است، در حالی که این روش ساده تر از روش آی.ایی.سی 60909 و دقیق تر از روش عملی است. کارایی و تحقق پذیری این روش تایید شده است. ساختار شبکه جمع آوری در نیروگاه بادی دارای تاثیر زیادی بر نتیجه جریان تکانه مدار کوتاه است. به طور ویژه زمانی که خطای مدار کوتاه در نقطه d2,d3رخ می دهد، باید خطای قابل ملاحظه ای در جریان تکانه به دست آمده با روش های مختلف وجود داشته باشد که نیاز به توجه ویژه داشته و ضریب تاثیر مناسب تر در تحقیقات بیشتر حاصل می گردد.

چهار. نتیجه گیری

تشابه ها و تفاوت های بین دو روش نخست در این مقاله تحلیل می شوند، و سپس روش عملی بهبود یافته بر اساس شاخص دقت محاسبه و هدف محاسبه سریع و راحت مطرح می شود. سرانجام با مقایسه و تحلیل نتایج محاسبه شده با استفاده از سه روش، کارایی و تحقق پذیری روش بهبود یافته تایید می گردد .این روش برخی ایده ها برای برقراری استانداردهای یکنواخت روش محاسبه جریان مدار کوتاه نیروگاه بادی در کشورها ارائه می دهد.