



انجمن مهندسين برق و الكترونیک ایران
شاخه ی تهران



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
قطب علمی قدرت

تعیین زمان مجاز عملکرد رله های اضافه جریان در حفاظت نیروگاههای برق بادی

حسین کاظمی کارگر

محمد مهدی مادرشاهیان

دانشگاه زنجان- دانشکده فنی

عضو هیئت علمی

زنجان-ایران

تلفن: ۰۲۴۱-۵۱۵۲۵۹۵ و ۰۲۴۱-۵۱۵۲۴۶۰ و ۰۲۱-۸۸۰۹۸۴۸۵

فاکس: ۰۲۴۱-۵۱۵۲۴۶۰ و ۰۲۴۱-۵۱۵۲۴۶۰ و ۰۲۱-۸۸۰۹۸۴۸۵

h_kazemi_ir@yahoo.com

چکیده

بکارگیری توربین‌های بادی به صورت مزارع بادی در شبکه‌های توزیع باعث ایجاد تغییراتی در این شبکه‌ها می‌گردد. این تغییرات بر روی طرح‌های حفاظتی شبکه نیز تأثیر می‌گذارد. در این مقاله برای بهبود عملکرد توربین برق بادی در هنگام بروز خطا در شبکه و جلوگیری از قطع بیمورد نیروگاه، زمان تأخیر مجاز عملکرد سیستم حفاظتی و پارامترهای موثر در این تنظیم مورد بررسی قرار می‌گیرد و نشان داده می‌شود که چگونه می‌توان مقدار مناسب تأخیر زمانی برای بهره برداری مناسب از نیروگاههای برق بادی تشخیص داد. بررسیهای بعمل آمده روی یک شبکه واقعی مزرعه بادی در منجیل اعمال می‌گردد و نتایج بدست آمده نشان میدهد که با در نظر گرفتن یک زمان تأخیری مناسب میتوان کارکرد نیروگاههای برق بادی به شبکه را در هنگام بروز خطا بهبود بخشید. در این مقاله همچنین پارامترهای الکتریکی این مزرعه بادی در هنگام بروز خطا مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرد.

کلید واژه: توربین بادی، تنظیم زمانی، حفاظت شبکه، اتصال کوتاه

۱- مقدمه

شبکه تقسیم بندی می‌شوند. تفاوت عمده این دو دسته توربین بادی در نوع ژنراتور آنها می‌باشد. در توربینهای بادی مستقل از شبکه از ژنراتورهای سنکرون و در نوع وابسته به شبکه از ژنراتورهای آسنکرون استفاده می‌کنند. معمولاً توربینهای بادی را به شبکه‌های توزیع وصل می‌کنند. استفاده از توربینهای بادی در شبکه توزیع به عنوان تولید کننده باعث می‌گردد که جهت تزریق جریان تغییر کند و الگوریتم حفاظتی شبکه تغییراتی کند.

مهمترین عاملی باعث می‌گردد توربینهای بادی وابسته به شبکه از مدار خارج شوند، بروز یک اتصال کوتاه در شبکه خارج از توربین و کاهش ولتاژ شبکه میباشد. در این حالت سرعت توربینهای بادی افزایش یافته و در نتیجه سیستم حفاظتی توربین باعث جدا شدن توربین از شبکه می‌گردد. برای جلوگیری از این حالت نیاز است که تنظیمهای حفاظتی شبکه با در نظر گرفتن توربینهای بادی مورد بررسی می‌گردد قرار گیرد و زمان مناسب عملکرد تجهیزات حفاظتی

امروزه تمایل فراوانی به استفاده از انرژیهای نو از جمله انرژی باد وجود دارد. بطوریکه پیش بینی می‌شود ظرفیت توربینهای بادی نصب شده در سطح دنیا تا سال ۲۰۲۰ به ۱۰۰ مگاوات برسد و تا سال ۲۰۳۰ نیز مقدار ۱۰٪ از کل انرژی مورد نیاز دنیا از انرژی باد تامین گردد. این روند رو به رشد علاوه بر پیشرفت تکنولوژی توربینهای بادی باعث کاهش هزینه این توربینها به میزان ۱۰٪ نسبت به سال ۲۰۰۰ شده است. نصب و بهره برداری از نیروگاههای بادی در ایران نیز از سال ۱۳۸۰ آغاز گردیده است. بطوریکه در مناطق مختلف از جمله منجیل، دیزباد و هرزویل این توربینها نصب شده اند. نتایج بررسیهای اولیه نشانگر وجود دست کم ۱۰۰ مگاوات پتانسیل باد در ایران می‌باشد. [۱ و ۲]

توربینهای بادی در اتصال به دو دسته مستقل از شبکه و وابسته به



زیرا عموماً در شبکه های توزیع از رله های بدون جهت حفاظت استفاده میگردد. در این وضعیت عملکرد رله بعثت جریان برگشتی از نیروگاه ممکن است باعث قطع بیمورد نیروگاه از شبکه گردد. نکته دیگر در تعیین زمان عملکرد سیستم حفاظتی به سرعت بیش از حد پره توربینهای برق بادی در هنگام خطا و دور گرفتن آنها بر میگردد. در این حالت نیز با بروز یک اتصالی در شبکه ولتاژ و جریان نیروگاه به شدت کاهش میابد و سرعت حرکت پره و به دنبال آن سرعت ژنراتور افزایش میابد.

اما نکته مهم در این است که تعداد زیادی از اتفاقات شبکه از نوع گذرا میباشند. لذا گر در این زمان رله های ولتاژی و جریان زیاد شبکه و یا رله های نصب شده در توربین بادی به سرعت عمل کنند باعث میگردد که نیروگاه از شبکه خارج شود. به همین منظور میبایست حداکثر زمان انتظار برای عملکرد رله ها را برای متصل نگاه داشتن نیروگاه به شبکه در تنظیم زمان عملکرد رله ها منظور نمود. مقدار حداکثر زمان عملکرد را میتوان از حد بالای سرعت مجاز ژنراتور بدست آورد. در ادامه برای یک نیروگاه واقعی پارامترها و تعیین زمان حداکثر مجاز بدست میآید.

۴- شبکه توزیع و فوق توزیع لوشان

در ایران مزارع بادی در نقاط مختلفی به شبکه های توزیع یا انتقال متصل شده اند. یکی از این مزارع، نیروگاه منجیل می باشد که برای بررسی عملکرد توربین های بادی در شبکه از این نیروگاه استفاده شده است.

این نیروگاه شامل توربین kw ، توربین بادی kw و یک توربین بادی kw می باشد. ژنراتور این توربین ها از نوع آسنکرون بوده و هر دسته از این ژنراتور توسط ترانسفورماتور متناسب با ظرفیت توربین ها به شبکه متصل شده اند. اطلاعات مربوط به این شبکه در مرجع [۱] آورده شده است. دیاگرام تک خطی شبکه در شکل (۱) شبکه برای استفاده در نرم افزار Digsilent شبیه سازی شده است.

۴-۱- عملکرد توربین های بادی در هنگام اتصال کوتاه بدون وجود رله های حفاظتی

در این بخش با قرار دادن یک اتصال کوتاه سه فاز در وسط خط L بین پست / کیلوولت لوشان و نیروگاه منجیل پارامترهای

تعیین گردد تا بدین ترتیب بتوان تا حد امکان از توربین های بادی استفاده نمود و مانع از جدا شدن آنها از شبکه گردید [۱]. در این مقاله برای شبکه واقعی منجیل و با استفاده از اطلاعات مربوط به توربین های بادی عمل رله گذاری و تعیین زمان عملکرد سیستم حفاظتی با توجه به تغییراتی در سرعت، قدرت، تغییرات ولتاژ و جریان نیروگاه بادی مورد بررسی قرار میگیرد و زمان مناسب تجهیزات و سیستم حفاظتی آن ارائه میگردد. برای این منظور از نرم افزار Power Factory شرکت Digsilent استفاده شده است.

۲- رله های حفاظتی و توربین های برق بادی

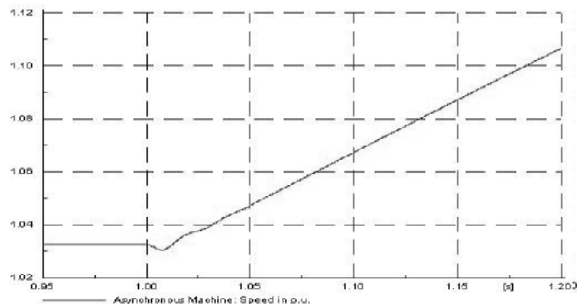
از آنجائیکه نیروگاه های برق بادی در شبکه های محلی و توزیع نصب میگردند و در این گونه شبکه ها از حفاظت اضافه جریان و کاهش-افزایش ولتاژ استفاده میگردد، لذا در این بررسی موارد مربوط به حفاظت جریان مد نظر قرار گرفته است. برای تنظیم رله های حفاظتی مربوط به این نوع حفاظت استانداردهای متفاوتی موجود می باشد. یکی از معتبرترین این استانداردها، استاندارد IEC242 می باشد که منحنی مشخصه ها و روابط مربوط به تنظیم هر یک از این رله های حفاظتی را بیان می کند. در اینجا برای تنظیم حفاظت اضافه جریان شبکه مورد نظر از همین استاندارد استفاده شده است [۱].

همچنین از ذکر معادلات مربوط به رله های جریان زیاد و معادلات توربین های بادی صرف نظر شده است که علاقه مندان میتوانند به مراجع [۴ و ۵] مراجعه نمایند.

۳- تعیین زمان عملکرد سیستم حفاظتی

برای تعیین زمان عملکرد سیستم حفاظتی لازم است که در ابتدا رفتار سیستم در هنگام بروز خطا مورد ارزیابی و تحلیل قرار گیرد. با توجه باینکه ژنراتور توربین های برق بادی از نوع آسنکرون میباشد ، در هنگام بروز خطا در شبکه ایجاد یک جریان برگشتی میکنند. اما بعثت اینکه میدان تحریک مستقل ندارند قادر به تامین جریان خطا برای مدت زمان طولانی مانند ژنراتورهای سنکرون نمیباشند و در نتیجه مقدار جریان خطای تامین شده از ژنراتورهای توربین برق بادی به سرعت به صفر میرسد.

عبور جریان خطا از طرف نیروگاه برق بادی میبایست برای هر نیروگاه محاسبه گردد و در تنظیم رله جریان زیاد مد نظر قرار گیرد.



شکل : تغییر فرکانس شینه مشترک بر مبنای واحد

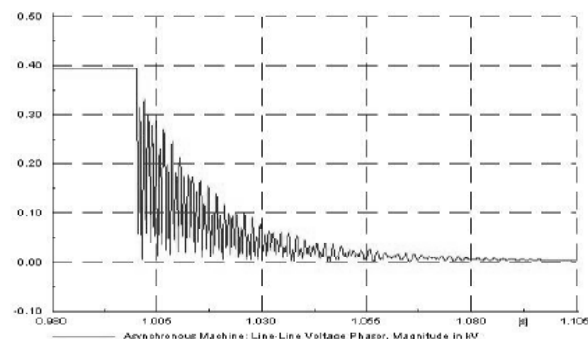
همانطور که در شکل‌های () تا () مشاهده می‌شود هنگامی که در خطوط یک توربین بادی خطای سه فاز رخ می‌دهد فرکانس شینه مشترک که متناسب با سرعت ژنراتورها می‌باشد با یک کاهش لحظه‌ای و سپس افزایش مواجه می‌شود، همچنین جریان در شینه مشترک بصورت ناگهانی افزایش یافته و سپس به صفر می‌رسد. ولتاژ شینه مشترک نیز با گذشت زمان کاهش یافته و در نتیجه توان اکتیو و راکتیو این توربین‌ها به سرعت کم می‌شود. اما در هنگام بروز خطا و با توجه به ماهیت جریان خطا که از نوع راکتیو می‌باشد. مقدار توان راکتیو نیروگاه تزریقی به شبکه برای مدت کوتاهی افزایش می‌یابد و سپس کم می‌شود.

۴-۲- تعیین زمان عملکرد مجاز عملکرد رله‌های حفاظتی در هنگام وقوع اتصال کوتاه در شبکه

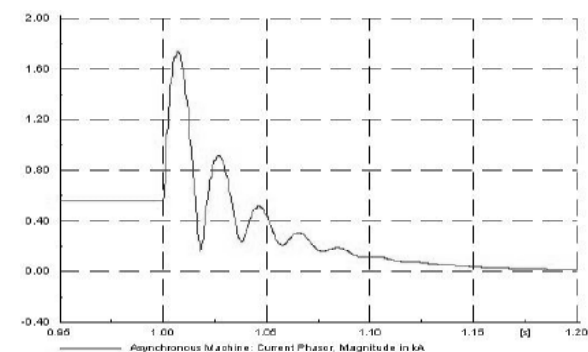
برای تعیین زمان عملکرد مجاز رله‌های حفاظتی ابتدا لازم است که افزایش سرعت توربین مد نظر قرار گیرد. همانطور که شکل () نشان می‌دهد، مقدار افزایش فرکانس و متناظر آن سرعت توربین در مدت زمان تقریبی ۰.۲ ثانیه به ۱۰٪ می‌باشد. به عبارت دیگر در این مدت زمان سرعت ژنراتور در حدود ۱۰٪ افزایش می‌یابد.

در صورتیکه حد مجاز افزایش سرعت ژنراتور را ۱۰٪ بدانیم، مقدار حاکثر زمان تاخیر برای عملکرد رله‌ها تعیین می‌گردد. از طرف دیگر مقدار جریان تزریقی از طرف نیروگاه نیز نباید موجب عملکرد رله نصب شده روی شینه مشترک، یعنی R_1 گردد. با استفاده از شکل (۳) مقدار جریان برگشتی برای رله مذکور برابر با $1/7$ برابر جریان نامی نیروگاه در مدت زمان کمتر از 0.2 ثانیه می‌باشد. لذا زمان مناسب برای تاخیر و تنظیم رله‌ها برابر با 0.15 ثانیه می‌باشد. با در نظر گرفتن این تاخیر زمانی به عنوان حداکثر زمان تاخیری مجاز، مجدداً به بررسی رفتار نیروگاه می‌پردازیم که در شکل‌های () تا () نشان داده شده است.

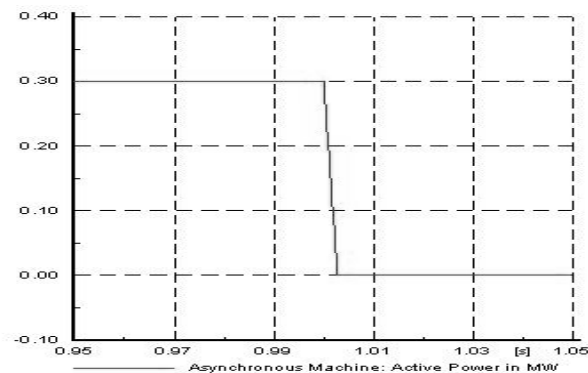
مختلف توربین‌های بادی در هنگام وقوع این خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد که در شکل‌های () تا () نشان داده شده است.



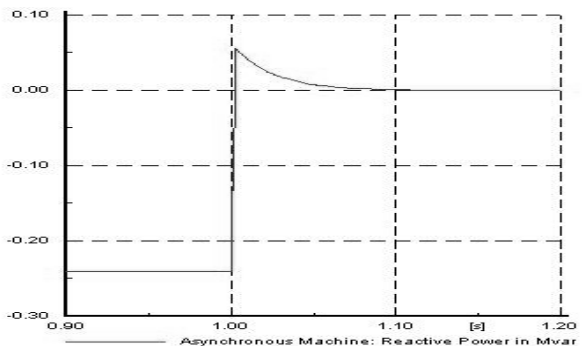
شکل : ولتاژ توربین بادی روی شینه مشترک



شکل ۳: جریان توربین بادی روی شینه مشترک



شکل : قدرت اکتیو خروجی نیروگاه برق بادی



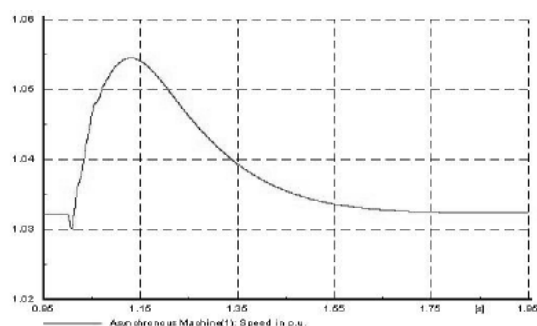
شکل : قدرت راکتیو نیروگاه برق بادی



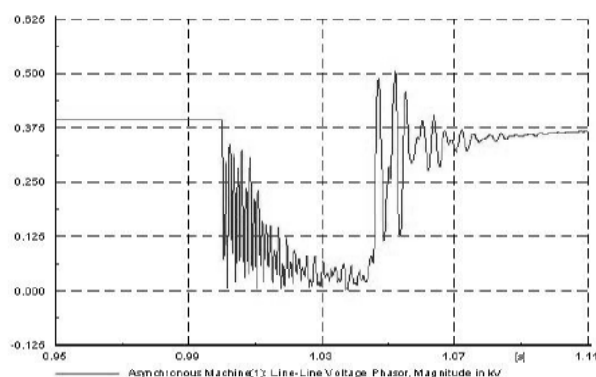
انجمن مهندسين برق و الكترونیک ايران
شاخه ی تهران



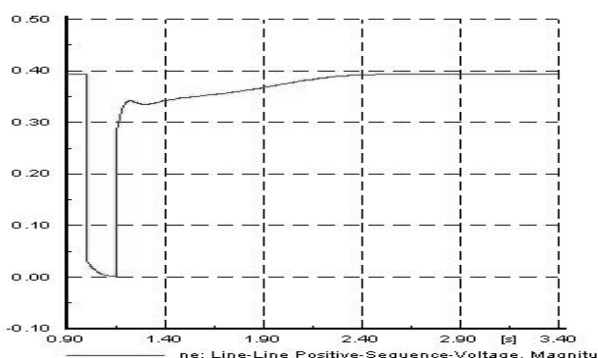
دانشگاه صنعتی امیرکبیر
قطب علمی قدرت



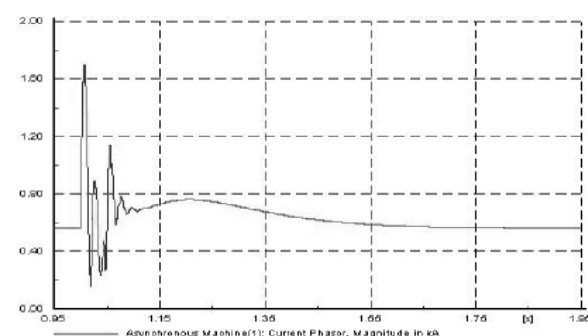
شکل سرعت توربین بادی بر حسب واحد



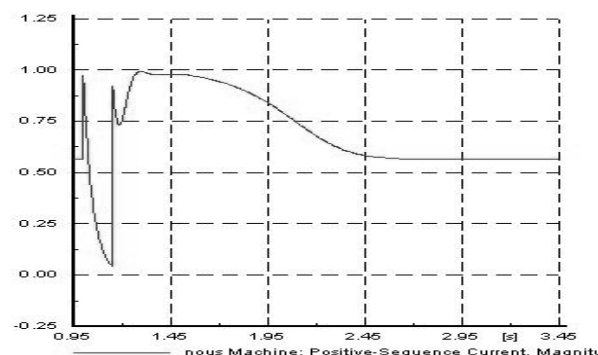
شکل : ولتاژ توربین بادی روی شینه مشترک



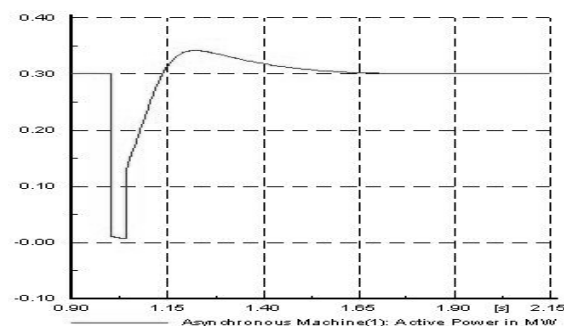
شکل : ولتاژ توالی مثبت توربین بادی AS



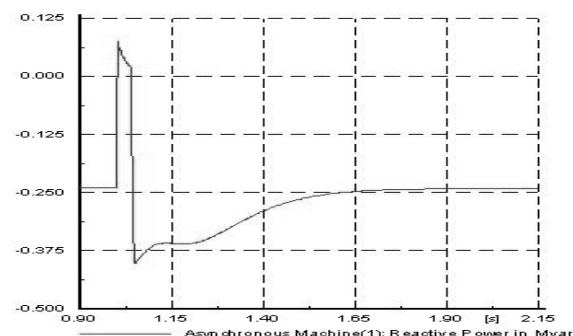
شکل : جریان توربین بادی روی شینه مشترک



شکل : جریان توالی مثبت توربین بادی AS



شکل قدرت اکتیو خروجی نیروگاه برق بادی



شکل : : قدرت راکتیو نیروگاه برق بادی



انجمن مهندسين برق و الكترونیک ايران
شاخه ی تهران



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
قطب علمی قدرت

افزایش سزعت ژنراتورهای نیروگاه برق می باشد و دیگر پارامترهای شبکه تاثیر ناچیزی در تعیین زمان تاخیری دارند. با در نظر گرفتن زمان تاخیر، نیروگاه برای خطاهای خارج از شبکه نیروگاه از شبکه جدا نمیگردد و میتواند به تزریق توان ادامه دهد. نتایج و بررسی ها روی شبکه عملی منجیل و نیروگاه بادی در حال کار آن مورد بررسی قرار گرفت.

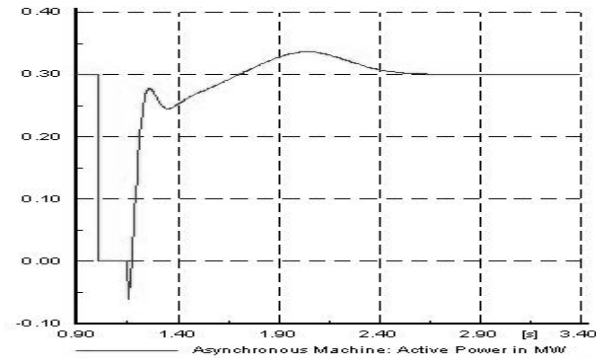
قدر دانی و تشکر

مولفین مقاله از زحمات و راهنماییهای کارشناسان مزرعه بادی منجیل، شرکت سدید صبا نیرو و سازمان انرژیهای نو کمال تشکر را دارند.

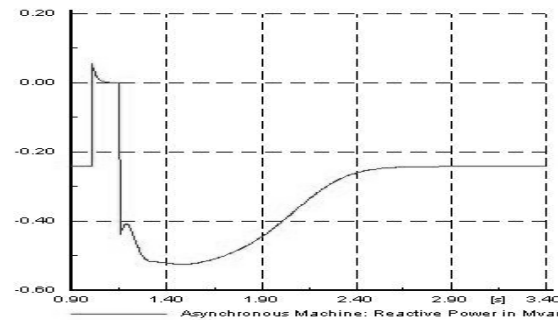
مراجع

- [۱] سایت سازمان انرژیهای نو (www.sun.org.ir)
- [2]. S. Heier, " Wind Energy Conversion System", Firsrt edition, John Wiley, 1998.
- [3] S.J.Haslam, P.A.Crossley, N.Jenkins, " Design and evalution of a wind farm protection relay ", IEE Proc.-Gener. Transm., Vol. 146, No. 1, pp. 141-147, January 1999.
- [4] ANSI/IEE Std:242-1986, " IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commerical Power System ", 1986.
- [5]. D. Seyoum, C. Grantham and M. F. Rahnama, " The Dynamic Characteristics of an Isolated Self-Excited Induction Generator Driven by a Wind Turbine", IEEE Trans. On Industry Applications, Vol. 39, No. 4, pp.936-944, July/ August 2003.

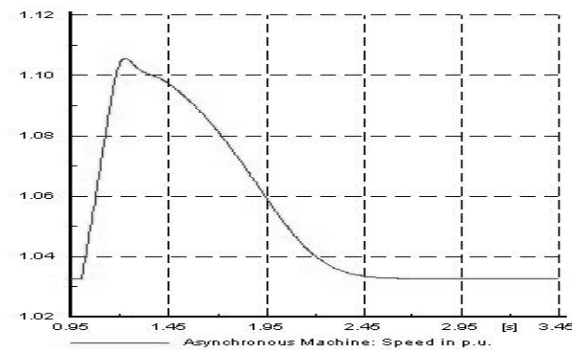
[۶] محمد مهدی مادرشاهیان، "طراحی حفاظت عمومی نیروگاههای برق بادی متصل به شبکه"، دانشگاه زنجان، شهریور ۱۳۸۴.



شکل : قدرت اکتیو توربین بادی AS



شکل : قدرت راکتیو توربین بادی AS



شکل : سرعت توربین بادی AS

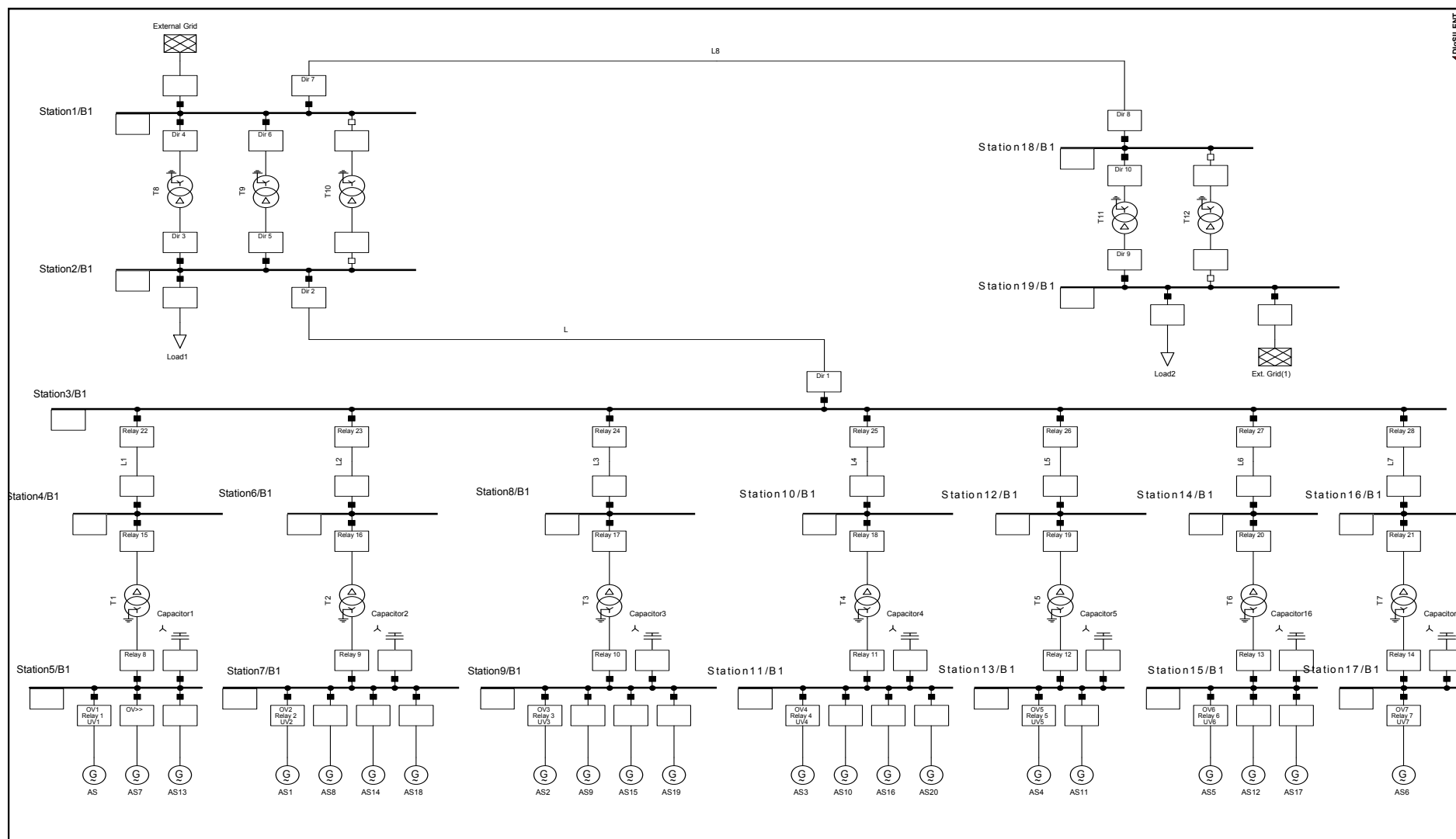
همانطور که در شکلهای () تا () ملاحظه میگردد، با ایجاد تاخیر زمانی مناسب هر یک از توربینهای بادی مجموعه نیز پایداری خود را حفظ میکنند.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی تعیین زمان مجاز تاخیری برای عملکرد رله های ولتاژی و جریان زیاد نیروگاههای بادی پرداخته شد. نتایج بدست آمده نشان داد عامل مهم در تعیین مدت زمان مجاز تاخیر

شاخه تهران

قطب علمی قدرت دانشکده برق



شكل (۱) شبکه نیروگاه برق بادی منجیل