

(۱) فصل اول: مقدمه

۱-۱- اهمیت این پروژه

با حرکت سیستم های قدرت از ساختار سنتی به سمت ساختار رقابتی، پیش بینی می شود مولدهای مقیاس کوچک نقشی مهم و اساسی را در صنعت برق ایفا نمایند. مولدهای مقیاس کوچک، منابع تولید توان الکتریکی هستند که به صورت پراکنده در شبکه برق برای تأمین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف کنندگان مورد استفاده قرار می گیرند و مستقیماً به شبکه برق یا محل مصرف کننده متصل می شوند.

روش متداول انتقال انرژی الکتریکی به مصرف کننده ها در دهه های اخیر عمدتاً تولید توان در نیروگاه های بزرگ، افزایش ولتاژ تا حد مطلوب توسط ترانسفورماتورها به منظور کاهش تلفات انتقال، انتقال انرژی الکتریکی از طریق خطوط طویل تا نزدیکی مصرف کننده ها و در نهایت یک یا چند مرحله کاهش ولتاژ برای تغذیه مصرف کننده ها می باشد. با افزایش میزان تقاضا برای انرژی الکتریکی، تجدید ساختار در صنعت برق و نیز افزایش راندمان واحدهای تولیدی کوچک، شرکت های برق تمایل بیشتری برای بهره برداری از این واحدها در سیستم توزیع و در نزدیکی مصرف کننده ها پیدا کرده اند. به این واحدهای کوچک که به سیستم توزیع متصل می شوند تولید توزیع شده یا تولید پراکنده (Distributed Generation) گفته می شود. خصوصی سازی صنعت برق و توسعه انرژی های تجدید پذیر از مهمترین عوامل گسترش این نوع از تولید برق می باشد. استفاده از نیروگاه های تولید پراکنده تأثیر قابل توجهی بر مؤلفه های فنی و اقتصادی سیستم های قدرت می گذارد. برخی از مزایای استفاده از نیروگاه های تولید پراکنده عبارتند از:

- ✓ افزایش قابلیت اطمینان
- ✓ تولید در محل مصرف، کاهش تلفات شبکه و آزاد سازی ظرفیت خطوط انتقال انرژی
- ✓ بهبود پروفیل ولتاژ شبکه
- ✓ پیک سابی
- ✓ استفاده از فناوری انرژی های تجدید پذیر و کاهش آلودگی محیط زیست
- ✓ امکان تولید همزمان برق، گرمایش و سرمایش

✓ پدافند غیر عامل

✓ تعویق هزینه های توسعه شبکه

جهت سرمایه گذاری در حوزه تولید پراکنده از فناوری های مختلف در جهان استفاده می شود که یکی از آنها استفاده از پنل های خورشیدی می باشد . انرژی خورشیدی منحصربه فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی های موجود در زمین می باشد. انرژی خورشیدی به صورت مستقیم و غیرمستقیم می تواند به اشکال دیگر انرژی تبدیل گردد.

ایران با داشتن حدود ۳۰۰ روز آفتابی در سال جزو بهترین کشورهای دنیا در زمینه پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان می باشد. با توجه به موقعیت جغرافیای ایران و پراکندگی روستایی در کشور، استفاده از انرژی خورشیدی یکی از مهمترین عواملی است که باید مورد توجه قرار گیرد. استفاده از انرژی خورشیدی یکی از بهترین راه های برق رسانی و تولید انرژی در مقایسه با دیگر مدل های انتقال انرژی به روستاها و نقاط دور افتاده در کشور از نظر هزینه، حمل نقل، نگهداری و عوامل مشابه می باشد. با توجه به استانداردهای بین المللی اگر میانگین انرژی تابشی خورشید در روز بالاتر از ۳/۵ کیلووات ساعت در مترمربع (۳۵۰۰ وات/ساعت) باشد استفاده از مدل های انرژی خورشیدی نظیر کلکتورهای خورشیدی یا سیستم های فتوولتائیک بسیار اقتصادی و مقرون به صرفه است. در بسیاری از قسمتهای ایران انرژی تابشی خورشید بسیار بالاتر از این میانگین بین المللی می باشد و در برخی از نقاط حتی بالاتر از ۷ تا ۸ کیلو وات ساعت بر مترمربع اندازه گیری شده است ولی به طور متوسط انرژی تابشی خورشید بر سطح سرزمین ایران حدود ۴/۵ کیلو وات ساعت بر مترمربع است. با توجه به فزونی یافتن روند استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، اتصال این منابع به شبکه قدرت و افزایش نفوذ آنها در شبکه می تواند شبکه را با تهدیدات مختلفی روبرو کند. لذا بر اساس دستور شرکت محترم توانیر، برای مولدهای تولید پراکنده متصل به شبکه انجام مطالعاتی با عنوان **"طرح اتصال به شبکه"** ضروری می باشد. در این پروژه قصد داریم یک نمونه ساده شده از این مطالعات را برای اتصال یک منبع فتوولتاییک به شبکه استاندارد ۳۳ باس IEEE انجام دهیم.

۲-۱- تعاریف

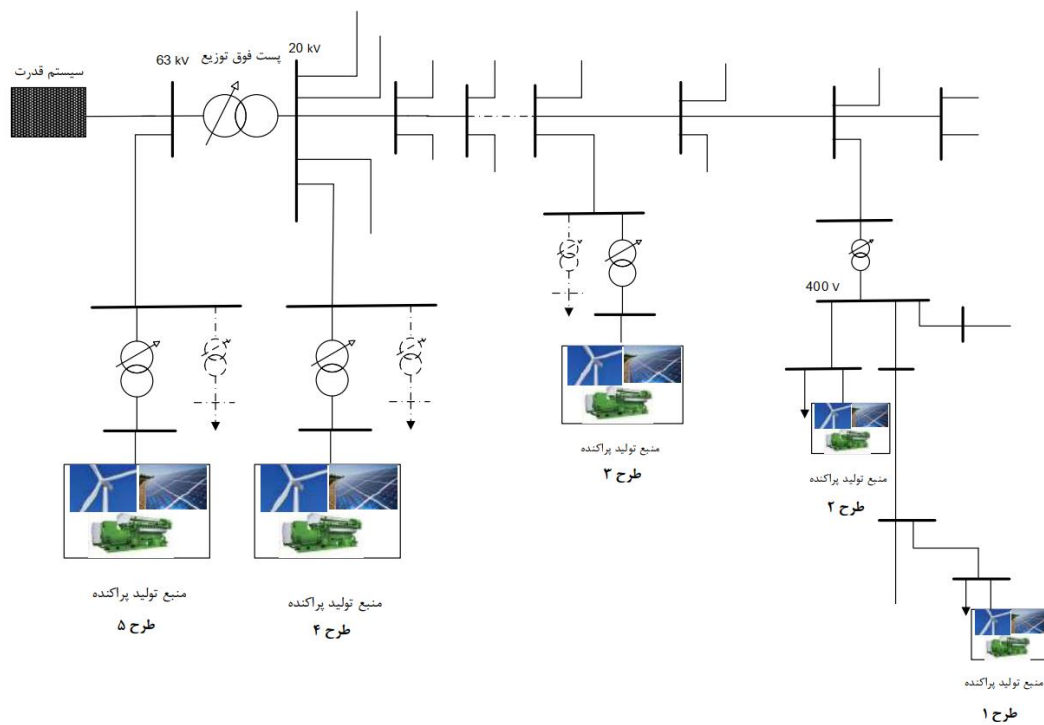
-منبع تولید پراکنده: مجموعه‌ای از دستگاه‌ها یا تاسیسات، به صورت یک واحد تولید برق است که بهره‌برداری از آن به صورت متصل به شبکه برق از نظر فنی امکان‌پذیر بوده و ظرفیت عملی آن در محل اتصال به شبکه برق از ۲۵ مگاوات بیشتر نباشد. مجموعه چند مولد که این شرط در مورد مجموع ظرفیت آن‌ها رعایت شود و در یک نقطه به شبکه برق متصل شوند نیز به عنوان منبع تولید پراکنده در نظر گرفته می‌شوند.

-طبقه‌بندی منابع تولید پراکنده با توجه به مقادیر نامی: طبقه‌بندی زیر برای مولدهای سه‌فاز ارائه شده است. با توجه به طبقه‌بندی صورت گرفته در شکل ۱-۱، طرح‌هایی که برای اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند در شکل ۲-۱ نمایش داده شده‌اند.

کلاس	مقادیر قدرت نامی
۱	کمتر از ۲۰ کیلووات
۲	مساوی یا بیشتر از ۲۰ کیلووات و کمتر از ۲۰۰ کیلووات
۳	مساوی یا بیشتر از ۲۰۰ کیلووات و کمتر از ۱۰۰۰ کیلووات
۴	مساوی یا بیشتر از ۱ مگاوات و مساوی یا کمتر از ۷ مگاوات
۵	بیشتر از ۷ مگاوات و مساوی یا کمتر از ۲۵ مگاوات

شکل ۱-۱: کلاس‌های مولد تولید پراکنده

ترتیب شماره‌گذاری این پنج طرح متناسب با افزایش ظرفیت DG (تولید پراکنده)، سطح خطا در نقطه اتصال مشترک (PCC) و زمان و هزینه مورد نیاز برای برقراری اتصال DG با شبکه در نظر گرفته شده است. با توجه به این مطلب، طرح‌های مجازی که با توجه به توان نامی منابع تولید پراکنده می‌توان برای اتصال این منابع به شبکه مورد استفاده قرار داد، در شکل ۳-۱ آورده شده‌اند.

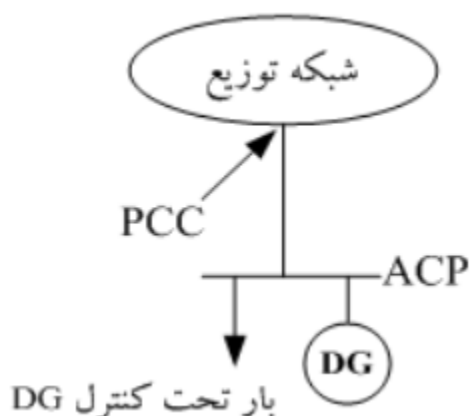


شکل ۲-۱: طرح های اتصال به شبکه مولد تولید پراکنده

شکل ۳-۱: طرح های مجاز برای اتصال مولد تولید پراکنده به شبکه با توجه به قدرت نامی

کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	کلاس ۵
طرح ۱	*			
طرح ۲	*	*		
طرح ۳		*	*	
طرح ۴			*	*
طرح ۵				*

-**نقطه اتصال مشترک (PCC):** درواقع، نقطه اتصال مشترک به عنوان نزدیک ترین نقطه به نقطه ای که تجهیزات DG به آن متصل هستند، تعریف می شود که سایر استفاده کنندگان شبکه نیز به آن متصل می شوند. این نقطه از دیدگاه شبکه، نقطه اتصال DG به شبکه بوده و اگر تغییری از جانب DG روی آن نقطه اعمال شود روی بارهای شبکه موثر خواهد بود. درواقع نقطه اتصال مشترک (PCC) باید در طراحی و نمودار تک خطی مشخص شود. مالک شبکه (بهره بردار)، طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری از تأسیسات طرف شبکه توزیع را در نقطه اتصال مشترک هماهنگ می کند. مالک DG نیز مسئولیت هماهنگی، طراحی، ساخت، نگهداری و بهره برداری از تأسیسات سمت تولید را در این نقطه بر عهده دارد. مالک DG مسئول هرگونه هزینه اضافی تحمیل شده به شبکه انتقال و توزیع ناشی از اتصال است. مالک شبکه بررسی فنی، طراحی و ساخت مورد نیاز برای نصب را انجام می دهد و هزینه های مورد نظر را به عهده مالک DG می گذارد. هزینه های بهره برداری، نگهداری و تعمیرات در سمت فیدر نیز توسط بهره بردار تقبل می شود. شماتیک این نقطه و نقطه اتصال واقعی (ACP) در شکل ۱-۴ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱: شماتیک نقطه PCC

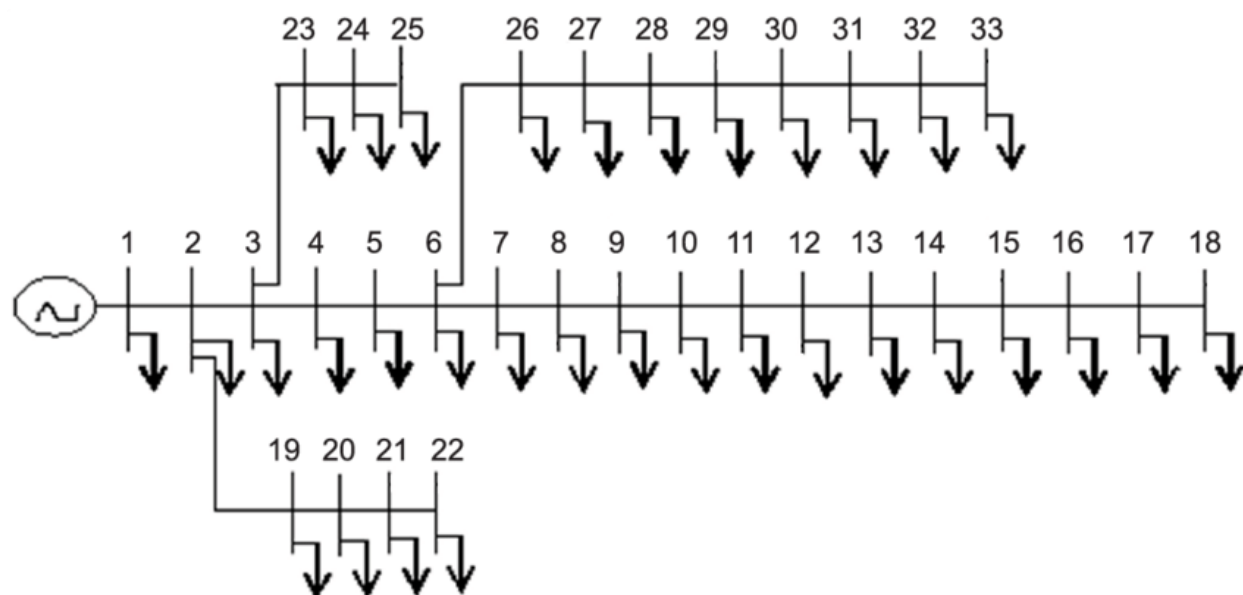
-**ترانسفورماتور عمومی:** ترانسفورماتوری که در پست بالادست DG قرار دارد و شبکه بالادست آن به صورت مدار معادل تونن مدل می شود.

-**ترانسفورماتور اختصاصی:** ترانسفورماتوری که DG را به فیدر شبکه یا باس وصل می کند.

-**فیدر اختصاصی:** خطی که DG را به ترانسفورماتور فیدر شبکه یا ترانسفورماتور اتصال دهنده منبع به شبکه وصل می کند.

-**کلید قدرت:** تجهیزى است که مى تواند مدار الکتریکی فشارقوى/متوسط را در شرایط عادى و شرایط بروز خطا (درمدت زمان تعریف شده محدود) قطع و وصل نماید به گونه اى که خود کلید آسیب ندیده و شبکه نیز به نحو مطلوبى کنترل شود و خطرى برای پرسنل بهره بردار شبکه ایجاد نشود. کلیدهای قدرت برای قطع جریان های عادی و جریان های اتصال کوتاه طراحی می شوند. کنترل این کلیدها می توانند به صورت محلی توسط شستی های محلی، یا توسط فرمان از راه دور و یا سیگنالهای مخابراتی صادر شده از تجهیزات حفاظتی مربوط به کلید انجام شود، بطوریکه با تجاوز جریان و ولتاژ خط و یا فرکانس سیستم و یا سایر پارامترهای کنترلی از حد معینی که برای تجهیزات حفاظتی از پیش تعیین شده است، رله تحریک شده و فرمان قطع را برای کلید مربوطه صادر می نماید.

-**شبکه ۳۳ باس IEEE:** یک شبکه استاندارد توزیع فشار متوسط است که به جهت انجام مطالعات سیستم قدرت مورد استفاده قرار می گیرد. ساختار این شبکه شعاعی بوده و در شکل ۱-۵ آورده شده است.



شکل ۵-۱: شبکه ۳۳ باس IEEE

۲) فصل دوم: مراحل انجام پروژه

۲-۱- شبیه سازی شبکه ۳۳ باس در حالت پایه

در اولین قدم از پروژه، شبکه ۳۳ باس معرفی شده در بخش ۱-۲ را در نرم افزار DigSILENT Power Factory شبیه سازی کنید. بدین منظور از اطلاعات ارائه شده در جدول ۱-۲ استفاده کنید.

۲-۲- اتصال منبع فتوولتاییک به شبکه

در این بخش نقطه PCC و اطلاعات مولد فتوولتاییک سه فاز را بر اساس قواعد زیر انتخاب کنید.

شماره باس در نظر گرفته شده به عنوان PCC = رقم یکان شماره دانشجویی + ۱۰

* طرح اتصال باید مطابق با شکل ۱-۳ انتخاب شود. در صورتی که شماره دانشجویی شما مطابق با طرح معرفی نمی باشد، محل نصب DG را بر اساس همان شماره دانشجویی انتخاب کنید.

توان نامی مولد = رقم دهگان شماره دانشجویی (بر حسب MVA)

* تبصره: اگر این رقم برای شما صفر بود، توان نامی را 2.5MVA لحاظ کنید.

ضریب توان = همواره قابلیت کار در ضریب توان 0.92 lag و 0.97 lead وجود دارد.

سطح ولتاژ = خروجی هر مولد فتوولتاییک 400 V ac خواهد بود.

مشخصات اتصال کوتاه مولد:

• سطح اتصال کوتاه زیر گذرا = 0.177 MW

• سطح اتصال کوتاه گذرا = 0

• نسبت مقاومت به راکتانس = 0.1

توجه: برای مدل کردن مولد فتوولتاییک می تواند از یک مولد با سطح توان گفته شده استفاده کنید. در ضمن امکان استفاده تجمیعی از چندین مولد فتوولتاییک (به شرطی که مجموع توان آن ها برابر با توان نامی ذکر شده باشد) فراهم است.

جدول ۲-۱: اطلاعات سیستم ۳۳ باس

Branch No.	From bus	To bus	R (Ω)	X (Ω)	Load at to bus	
					P (kW)	Q (kW)
1	1	2	0.0922	0.0477	0	0
2	2	3	0.4930	0.2511	100	60
3	3	4	0.3660	0.1864	90	40
4	4	5	0.3811	0.1941	120	80
5	5	6	0.8190	0.7070	60	30
6	6	7	0.1872	0.6188	60	20
7	7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	8	9	1.0300	0.7400	200	100
9	9	10	1.0400	0.7400	60	20
10	10	11	0.1966	0.0650	60	20
11	11	12	0.3744	0.1238	45	30
12	12	13	1.4680	1.1550	60	35
13	13	14	0.5416	0.7129	60	35
14	14	15	0.5910	0.5260	120	80
15	15	16	0.7463	0.5450	60	10
16	16	17	1.2890	1.7210	60	20
17	17	18	0.7320	0.5740	60	20
18	2	19	0.1640	0.1565	90	40
19	19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	21	22	0.7089	0.9373	90	40
22	3	23	0.4512	0.3083	90	40
23	23	24	0.8980	0.7091	90	50
24	24	25	0.8960	0.7011	420	200
25	6	26	0.2030	0.1034	420	200
26	26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	27	28	1.0590	0.9337	60	25
28	28	29	0.8042	0.7006	60	20
29	29	30	0.5075	0.2585	120	70
30	30	31	0.9744	0.9630	200	600
31	31	32	0.3105	0.3619	150	70
32	32	33	0.3410	0.5302	210	100

*R: resistance *X: reactance

۲-۳- ترانسفورماتور اختصاصی

بسته به سطح توان مولد و با در نظر گرفتن این قاعده که بارگذاری ترانسفورماتور نباید بیشتر از ۸۰٪ باشد، ترانسفورماتور مناسب را انتخاب کنید.

* توجه کنید انتخاب صحیح نسبت تبدیل، سطح توان، امپدانس درصد و سایر مشخصات ترانسفورماتور مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت. انتخاب ترانسفورماتور از بین ترانسفورماتورهای شرکت ایران ترانسفو یا آریا ترانسفو و یا هر شرکت ترانسفورماتور سازی دیگری مزیت محسوب می شود.

۲-۴- مطالعات پخش بار

در این بخش شبکه را در دو حالت پر باری (بر اساس جدول ۲-۱) و حالت کم باری، هر کدام در حضور و بدون حضور مولد تولید پراکنده بررسی کنید. در نهایت نتایج شامل سطح ولتاژ و تلفات را در حضور و بدون حضور مولد ارائه داده و نتایج را تحلیل کنید. تحلیل شما باید نمایانگر این باشد که آیا شبکه در حضور مولد استانداردهای مربوطه را رعایت می کند یا خیر.

* برای ایجاد حالت کم باری scaling factor بارها را روی 0.8 قرار دهید.

* برای انتخاب ضریب توان در هر حالت مطالعاتی، ضریب توانی را در نظر بگیرید که منجر به بدترین حالت ممکن (worst case) خواهد شد.

* در صورتی که هر کدام از استانداردها توسط مولد نقض شدند، راه حلی جهت رفع این مشکل ارائه دهید. لازم به ذکر است شبیه سازی این راه حل نمره اضافه خواهد داشت.

جدول ۲-۲: استانداردهای مطالعات پخش بار

استاندارد مورد بررسی	بازه مورد تایید
سطح ولتاژ	در سیستم LV بین ۰.۹۵ - ۱.۰۵ پریونیت در سیستم MV بین ۰.۹۷۵ - ۱.۰۵ پریونیت
تلفات	پس از اتصال مولد باید کاهش یابد.
بارگذاری تجهیزات (چک کردن این مورد در این پروژه اختیاری است)	در شرایط عادی برای ترانس باید کمتر از ۸۰٪ و برای سایر تجهیزات کمتر از ۱۰۰٪ باشد.

۲-۵- مطالعات اتصال کوتاه

در این مطالعات سیستم را در حالت حضور و عدم حضور مولد تولید پراکنده مورد بررسی قرار دهید. همچنین در هرکدام از این حالات خطای سه فاز و تکفاز با مقاومت صفر اهم و ۱۰ اهم در باس PCC را شبیه سازی کرده و بر این اساس قدرت قطع کلید را انتخاب کنید.

۲-۶- مطالعات پایداری گذرا (امتیازی)

در این بخش به منظور شبیه سازی تاثیر ناگهانی ابرها بر تولید مولد فتوولتاییک، با تعریف یک Load event در زمان $t = 0.1s$ که باعث تغییر ۳۲٪ در تولید خواهد شد، پایداری فرکانس و ولتاژ مولد را بررسی کنید. رسم منحنی های دینامیکی و تحلیل آنها اجباری است.