



تولید پراکنده: مقدمه، تعاریف و ویژگی ها و مسائل

دانشگاه آزاد اسلامی واحد شبستر

دانشکده فنی

گروه برق

حسن علیپور

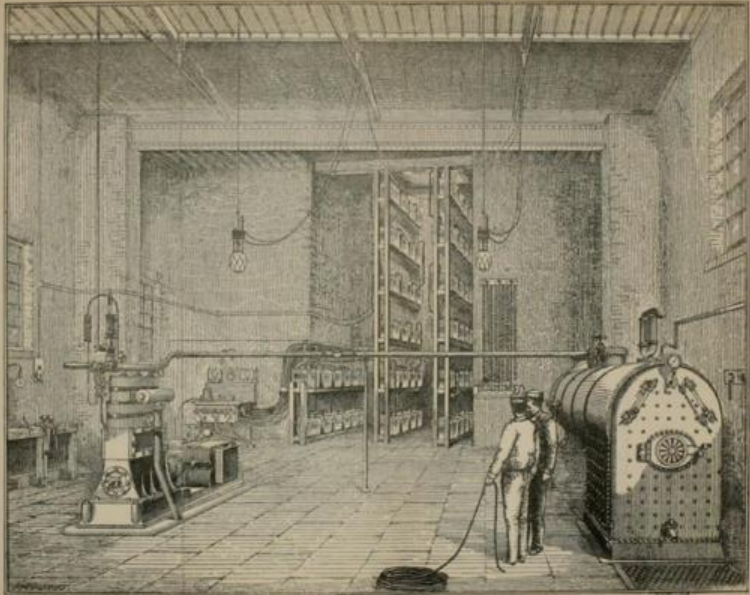


مراجع

1. G. Pepermans, J. Driesen, D. Haeseldonckx, R. Belmans, and W. D'haeseleer, "Distributed generation: definition, benefits and issues," *Energy Policy*, vol. 33, no. 6, pp. 787-798, 2005.
2. T. Ackermann, G. Andersson, and L. Soder, "Distributed generation: a definition," *Electric Power System Research*, vol. 57, no. 3, pp. 195-204, 2001.

مقدمه

- ❖ تولید پراکنده (DG) به معنی تولید برق مقیاس کوچک، مفهوم جدیدی برای مقالات و انتشارات در زمینه بازار برق می باشد.
- ❖ در گذشته (سالیان ابتدایی تولید برق)، DG قاعده بود نه یک استثنا.
- ❖ نیروگاه های برق اولیه، برق مصرف کننده هایی که در همسایگی و نزدیک نیروگاه قرار داشتند را تامین می کردند.
- ❖ شبکه برق در گذشته DC بود، بنابراین محدودیت زیادی در افزایش ولتاژ و مسافت انتقال برق وجود داشت.



مقدمه

- ❖ با توجه به امکان تبدیل سطح ولتاژ برق AC توسط ترانسفورماتور، شبکه های برق جریان متناوب و به تبع آن نیروگاه های متمرکز و بزرگ برق به سرعت توسعه یافتند.
- ❖ امنیت تأمین برق (security of supply) افزایش یافت به طوریکه در صورت بروز خطا در یک نیروگاه، کمبود برق، توسط نیروگاه های دیگر موجود در شبکه قدرت به هم پیوسته جبران شدند.





چرا DG؟

❖ در دو دهه گذشته سه عامل اصلی منجر به توجه مجدد به تولید پراکنده شده است:

۱. نوآوری های فنی
۲. تغییرات اقتصادی
۳. توجه به محیط زیست

❖ عوامل اصلی توجه به DG بیان شده توسط IEA(2002)

(International Energy Agency)

- **Developments in DG technologies**
- **Constraints on the construction of new transmission lines**
- **Increased customer demand for highly reliable electricity**
- **The electricity market liberalisation**
- **Concerns about climate change**

آزادسازی بازارهای برق

❖ در یک بازار آزاد:

- Customers will look for the electricity service best suited for them
- Different customers attach different weights to features of electricity supply
- Distributed generation technologies can help electricity suppliers to supply the type of electricity service they prefer

➤ به عبارات دیگر: تولید پراکنده به بازیگران بازار برق امکان انعطاف پذیری در پاسخگویی به تغییر شرایط در بازار را فراهم می کند.

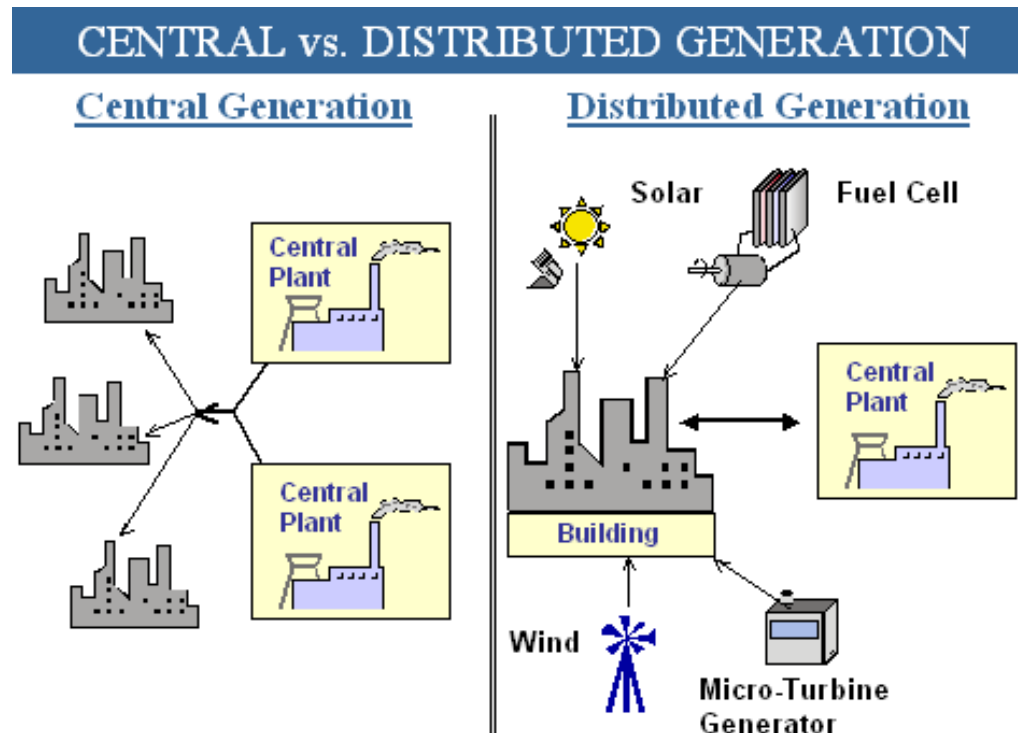
➤ دلایل:

۱. داشتن اندازه کوچک
۲. زمان احداث کوتاه

آزادسازی بازارهای برق

ویژگی های فنی تولید پراکنده در آزادسازی بازار برق:

1. Standby capacity or peak use capacity (peak shaving)
2. Reliability and power quality
3. Alternative to expansion or use of the local network
4. Grid support



ظرفیت آماده به کار و ظرفیت پیک

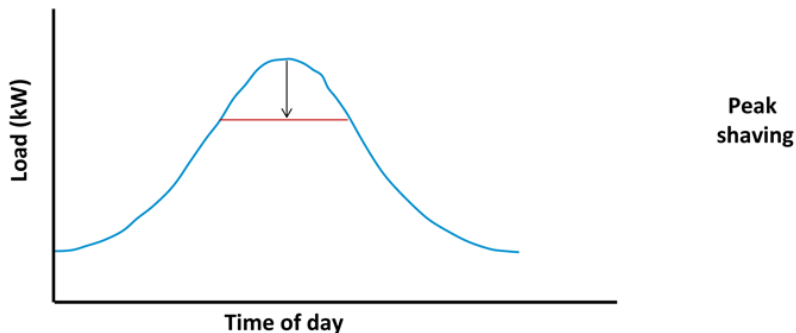
❖ تولید کننده های پراکنده در سه جنبه دارای انعطاف پذیری هستند:

۱. عملکرد

۲. اندازه

۳. توسعه

❖ تولیدکننده های پراکنده امکان عکس العمل منعطف را در برابر تغییر قیمت برق فراهم می کنند. مثلاً این منابع در زمان پیک مصرف، به صورت یک مانع در برابر نوسانات قیمت عمل می کنند.



❖ عامل اصلی توجه به DG در امریکا اقتصادی و در اروپا مسائل فنی و زیست محیطی است.



قابلیت اطمینان

- ❖ دومین عامل مهم توجه به DG در امریکا، مسئله **قابلیت اطمینان (Reliability)** است.
- ❖ آزادسازی بازار برق منجر به **آگاهی بیشتر** مصرف کنندگان به ارزش قابلیت اطمینان می شود.
- ❖ مصرف کننده های اروپایی به دلیل **استانداردهای بالای مهندسی**، نگرانی و توجه چندانی به مقوله قابلیت اطمینان و قطعی برق ندارند.
- ❖ به دلیل هزینه بالای تجهیزات و تعمیر و نگهداری، با **آزادسازی بازار** سطح **قابلیت اطمینان** می تواند **کاهش** یابد (برای مصرف کنندگان اروپایی).
- ❖ قابلیت اطمینان برق برای **صنایع** بسیار مهم است و کاهش قابلیت اطمینان برق شبکه منجر به **سرمایه گذاری** آنها در امر **DG** می شود.

قابلیت اطمینان

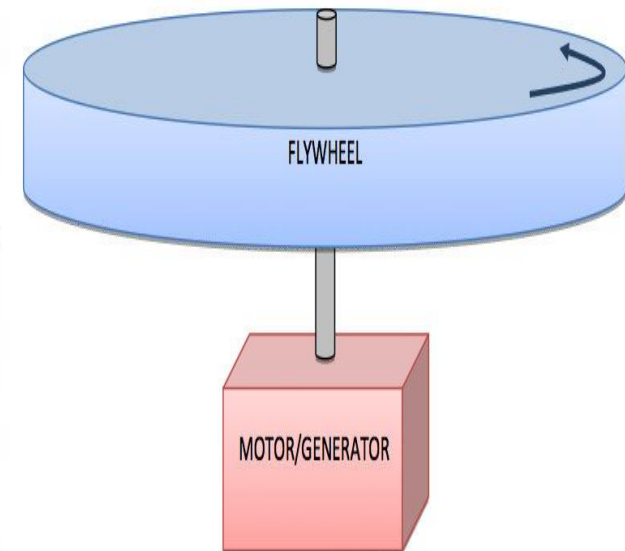
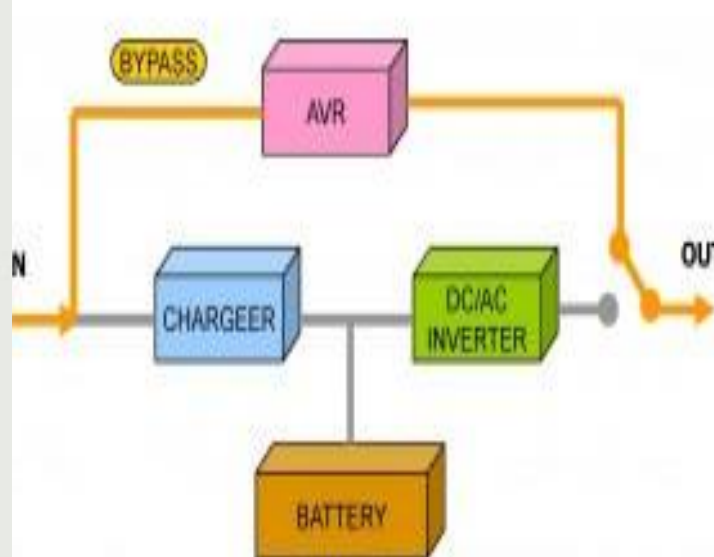
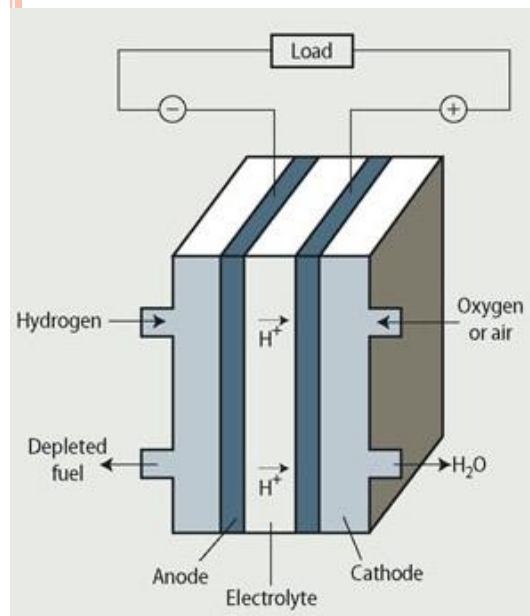
❖ IEA(2002) مسئله قابلیت اطمینان را مهمترین امر در بازار برق آینده برای تولید کننده های پراکنده می داند.

❖ تکنولوژی های DG که منجر به حفاظت در برابر قطعی برق می شوند:

۱. پیل های سوختی

۲. سیستم های پشتیبان که با یک UPS ترکیب شده باشند.

۳. موتورهای دیزلی و یا گازی که با یک چرخ طیار ترکیب شده اند.



کیفیت توان

❖ کیفیت توان در برگیرنده قابلیت اطمینان نیز است.

❖ کیفیت توان پایین می تواند توسط عوامل زیر ایجاد شود:

۱. بروز خطا و عمل کلیدزنی کلیدها در شبکه که منجر به افت ولتاژ، قطع برقی و یا شرایط گذرا می شود.

۲. ایجاد اختلال برای شبکه از سوی بار که منجر به فلیکر (نوسانات سریع ولتاژ)، هارمونیک ها و عدم تعادل فازها می شود. دلیل این اختلالات مربوط به ظرفیت اتصال کوتاه و یا به عبارتی امپدانس داخلی شبکه (منبع) می باشد که به ساختار شبکه بستگی دارد. بنابراین شبکه جهت حفظ کیفیت توان باید بتواند حداقل ظرفیت اتصال کوتاه مورد نیاز را تضمین کند.

Typical Voltage waveform with Flicker

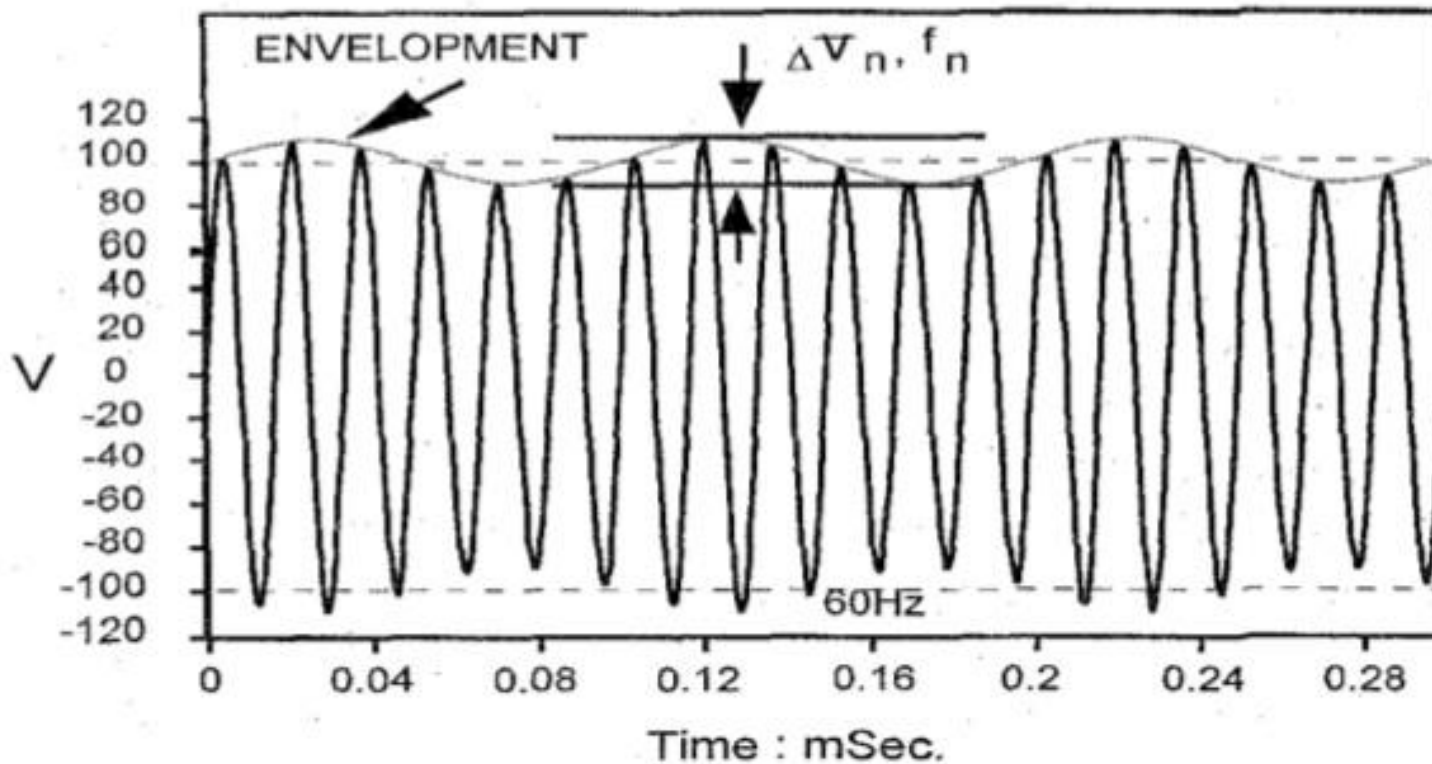


Figure . A voltage flicker waveform, $f_1=10$ Hz, $\Delta \bar{V}_1=20$ V.



کیفیت توان

❖ رابطه بین کیفیت توان و تولید کننده های پراکنده مبهم است.

❖ در مناطقی که تأمین پشتیبان برای ولتاژ دشوار است DG می تواند سبب افزایش ولتاژ شود. اما در صورت وجود تولید پراکنده با مقیاس بزرگ و بدون کنترل مناسب آن، به دلیل وشارش توان دوطرفه و پیچدگی در شارش توان راکتیو کیفیت توان می تواند کاهش یابد و در امر حفاظت شبکه نیز مشکلاتی ایجاد شود.



استفاده از شبکه های محلی

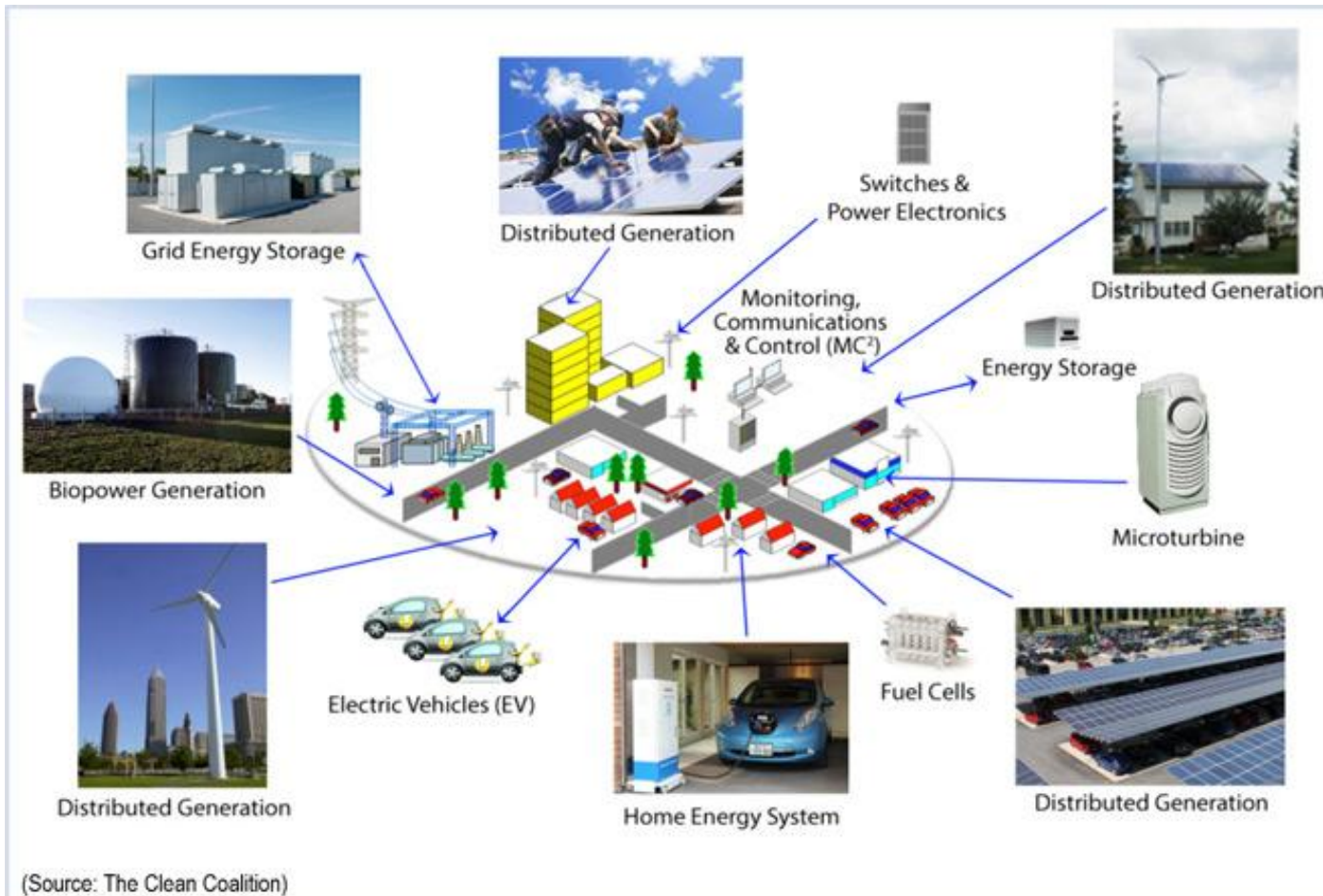
❖ DG می تواند با استفاده از شبکه های توزیع محلی جایگزینی برای کاهش سرمایه گذاری برای توسعه شبکه توزیع و انتقال شود.

❖ According to the IEA (2002), on-site production could result in cost savings in transmission and distribution of about **30%** of electricity costs.

❖ حتی انتخاب مناسب محل DG می تواند منجر به کاهش تلفات شبکه شود.

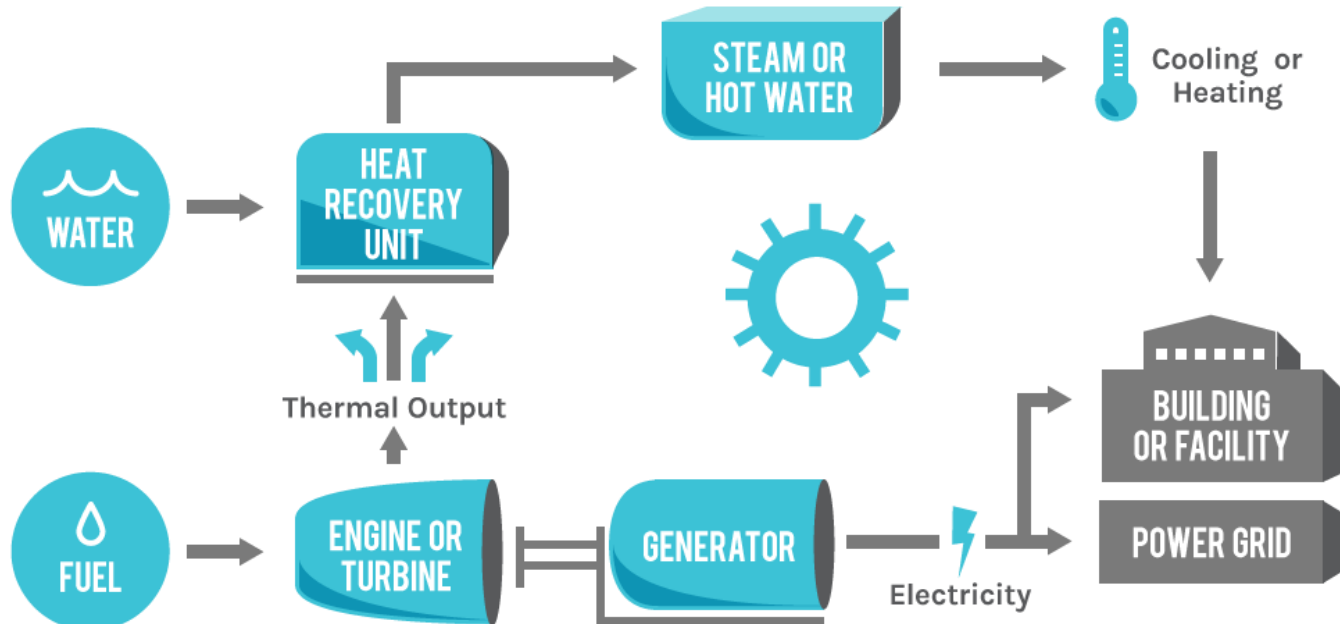
پشتیبانی از شبکه

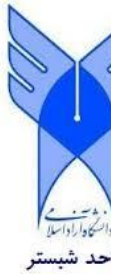
❖ DGها می توانند به عنوان پشتیبان شبکه بخشی از درخواست توان را تامین کنند و احتمال افت فرکانس را به دلیل ظرفیت پایین تولید و انتقال را کاهش دهد.



مسائل زیست محیطی

- ❖ در حال حاضر مهمترین عامل محرک گسترش تولید پراکنده در اروپا نگرانی های زیست محیطی می باشد.
- ❖ تولید همزمان برق و گرما (توسط CHP) منجر به کاهش مصرف سوخت های فسیلی و اثرات زیست محیطی می شود.
- ❖ DG فرصت بهرهبرداری از سوخت های ارزان نظیر گازهای حاصل از دفن زباله ها (landfill) و یا دیگر منابع زیست توده ای را فراهم می کند.





Distributed generation technologies and their potential benefits

	Standby	Peak Shaving	Reliability	Power quality	Avoiding grid expansion
Reciprocating engines	Yes	Yes	Yes, if dispatchable		Yes, if dispatchable
Gas turbines	Yes	Yes	Yes, if dispatchable		Yes, if dispatchable
Micro turbines	Yes	Yes	Yes, if dispatchable		Yes, if dispatchable
Fuel cells	Yes	No	Yes, if dispatchable		Yes, if dispatchable
Photovoltaic	No	No	No	No	Difficult
Wind	No	No	No	No	Difficult
Other renewables	No	No	No, except hydro		Difficult

Grid support (ancillary services)	Co-generation	Green power	Cheap fuel opportunities
Yes, if dispatchable	Yes	No–yes ^a	No–yes ^a
Yes, if dispatchable	Yes	No–yes ^a	No–yes ^a
Yes, if dispatchable	Yes	No–yes ^a	No–yes ^a
Yes, if dispatchable	Yes	No–yes ^b	No
Difficult	No	Yes	Yes
Difficult	No	Yes	Yes
Difficult	No, except biomass as fuel	Yes	Yes

مسائل عمده سیاست گذاری تولیدات پراکنده

۱. هزینه سرمایه گذاری بالا (High financial cost)

- هزینه سرمایه گذاری تولیدکننده های پراکنده در مقایسه با تولیدکننده های متراکم بزرگ به ازای هر kW به نوبه بالا است.
- اختلاف هزینه سرمایه گذاری بین تکنولوژی های مختلف DG تقریباً زیاد است.

۲. انتخاب محدود بین سوخت های اولیه گران (Less choice) (between more costly primary fuels)

- بسیاری از تکنولوژی های DG از گاز به عنوان سوخت استفاده می کنند.
- جایگزین شدن زغال سنگ با سوخت بدلیل مسائل زیست محیطی
- در بسیاری از کاربردهای DG هزینه سوخت نسبت به نیروگاه های متمرکز بزرگ بیشتر است. (این مسائل در غرب بیشتر است)

مسائل عمده سیاست گذاری تولیدات پراکنده

۳. راندمان اقتصادی (Economic efficiency)

- بستگی به ساختار بازار (بازار آزاد، حمایتی،...) دارد.

۴. حفاظت محیط زیست (Enviromental protection)

- از نظر مصرف سوخت، DGهای کوچک نسبت به نیروگاه های بزرگ مشابه دارای راندمان کمتری هستند مگر اینکه به صورت CHP استفاده شوند.
- نمی توان گفت که افزایش DG همیشه برای محیط زیست مناسب است و بستگی زیادی به تکنولوژی های مورد استفاده دارد.

$$PPS = \left(\frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{\alpha_Q}{\eta_Q} - 1 \right) \dot{F} \quad CI = \frac{\text{amount emitted in (kg/s)}}{\text{primary fuel input in (J/s)}}$$

$$\text{Avoided emissions} = \left(\frac{\alpha_E}{\eta_E} + \frac{\alpha_Q}{\eta_Q} - 1 \right) CI.$$

مسائل عمده سیاست گذاری تولیدات پراکنده

۵. امنیت انرژی (Energy security)

❖ امنیت انرژی را می توان به دو صورت تفسیر کرد:

○ الف) امنیت انرژی به معنی تنوع منابع انرژی اولیه

○ در این مورد، مزایای DG محدود است چراکه بجز تکنولوژی های تجدید پذیر بقیه تکنولوژی ها عموماً از گاز استفاده می کنند.

○ ب) امنیت انرژی به معنی قابلیت اطمینان سیستم الکتریکی

○ در این مورد بسیاری از مولفان، امکان کاهش ریسک و هزینه خاموشی (Blackout) را مطرح کرده اند. گرچه افزایش non-dispatchable DGs می تواند اثرات منفی بر امنیت شبکه داشته باشد.

مسائل عمده سیاست گذاری تولیدات پراکنده

۶. کیفیت توان (Power quality)

- DGها می توانند تأثیرات مثبت یا منفی بر فرکانس سیستم و سطح ولتاژ داشته باشند.
- به عنوان مثال « در یک سیستم توزیع شعاعی، DG می تواند سبب افزایش ولتاژ شود که در صورت بالا بودن ولتاژ سیستم، میتواند سبب بروز مشکلاتی شود.

۷. مسائل اتصال (Connection issues)

- الف) تغییر در شارش توان
- نصب DG می تواند منجر به شارش توان از شبکه ولتاژ پایین به ولتاژ متوسط شود.
- ب) حفاظت
- امر حفاظت به دلیل شارش دو طرفه توان و ایجاد جزیره در شبکه، دشوارتر می شود.

مسائل عمده سیاست گذاری تولیدات پراکنده

- ج) توان راکتیو
- بسیاری از واحدهای کوچک و متوسط DG از ژنراتورهای آسنکرون استفاده می کنند که نیاز به توان راکتیو دارند.

- د) Power conditioning
- برخی از DGها نظیر PV و پیل سوختی توان DC تولید می کنند که نیاز به واسط جهت اتصال به شبکه دارند. این DGها می توانند سبب افزایش هارمونیک در شبکه شوند.

تعریف تولید پراکنده

تا اینجا DG را به صورت تولید برق مقیاس کوچک تعریف کردیم.
اما یا این تعریف کاملا محکم و درستی است؟

در کشورها و مقالات مختلف مبنای متفاوتی برای تعریف DG بیان شده است:

❖ در کشورهای مختلف از لفظ (در آمریکای جنوبی) “embedded generation” (آمریکای شمالی) “dispersed generation” و (اروپا و بخشی از آسیا) “decentralized generation” استفاده می شود.

❖ تعریف بر اساس سطح ولتاژ

❖ تعریف بر اساس شبکه و مداری که اتصال به آن انجام شده است.

❖ تعریف بر اساس برخی ویژگی ها نظیر: تجدیدپذیر بودن، تولید همزمان، غیر قابل دیسپچ بودن و ...

تعریف تولید پراکنده

❖ CIGRE تمامی واحدهای تولیدی را که ظرفیت بیشینه ۵۰ تا ۱۰۰ MW را دارند و مستقیماً به شبکه توزیع وصل می شوند به عنوان DG تعریف می شوند.

❖ IEEE تولید پراکنده را به صورت تولید کننده های برق که به اندازه کافی از نیروگاه های مرکزی کوچکتر باشند به طوری که تقریباً بتوان در هر نقطه ای از سیستم قدرت نسب شوند، تعریف می کند.

تعریف تولید پراکنده

- در بیشتر تعاریف، تولید پراکنده به **شبکه توزیع** نصب می شود. بنابراین با قاطعیت می توان گفت که تولید کننده های **مقیاس کوچک** که **مستقیماً به شبکه توزیع** نصب می شوند جزء DG به حساب می آیند.
- واحدهای تولیدی که **نزدیک بار** و یا در **سمت مصرف کننده** **میترا** نصب می شوند، DG به حساب می آیند.
- بنابراین برخی از واحدهای بزرگ که به شبکه انتقال متصل شده اند ولی در سمت بار می باشند، DG هستند. (مقیاس کاملاً روشنی در مورد max ظرفیت تولید وجود ندارد و max ظرفیت DG به ظرفیت شبکه توزیع بستگی دارد)



تعريف توليد پراکنده

○ آکرمن جهت تعريف توليد پراکنده ۹ موضوع را بررسی می کند.

1. the purpose
2. the location
3. the rating of distributed generation
4. the power delivery area
5. the technology
6. the environmental impact
7. the mode of operation
8. the ownership
9. the penetration of distributed generation

۱. هدف

- هدف از تولید پراکنده، فراهم کردن یک منبع تولید توان اکتیو می باشد.
- بنابراین، منبع تولید پراکنده نیازی نیست که توان راکتیو تولید کند.

۲. موقعیت

- DG مستقیماً به شبکه توزیع و یا به شبکه برق در سمت مصرف کننده میتر متصل می شود.
- یک CHP بزرگ که در یک واحد صنعتی بزرگ قرار دارد DG است.
- یک مزرعه بادی متوسط که مستقیماً به خط انتقال متصل شده DG نیست.



شبکه توزیع و انتقال

❖ به صورت معمول شبکه توزیع و انتقال از روی **سطوح ولتاژ** آنها همیز داده می شوند.

❖ تعریف شبکه توزیع و انتقال بر اساس سطح ولتاژ همیشه مفید نیست، چرا که:

❖ الف) بین سطوح ولتاژ خطوط انتقال و توزیع هم پوشانی وجود دارد. (هم پوشانی بین سطح 220kV و 110kV)

❖ ب) سطوح ولتاژ قانونی که شبکه توزیع و انتقال را از هم جدا می کنند می توانند از یک منطقه به منطقه دیگر متفاوت باشند.

بنابراین باید برای تشخیص شبکه توزیع و انتقال به جای سطوح ولتاژ، از **تعاریف قانونی** هر کشور استفاده کرد.

شبکه توزیع و انتقال

تعریف یک سیستم انتقال:

❖ در یک سیستم برق رقابتی، تعریف قانونی سیستم انتقال عبارت است از سیستمی که توسط شرکت های مستقلی عمل می کند که در تولید برق و توزیع و خورده فروشی آن نقشی ندارند.

تعریف یک سیستم توزیع:

❖ عبارت از سیستمی است که توسط شرکتهای توزیع مدیریت شده و قدرت الکتریکی را از یک شبکه یا مصرف کننده ها تأمین کرده و در امور توزیع و خورده فروشی وارد می شود.

❖ در برخی کشورها (مثل سوئد) شبکه های ناحیه ای (regional) که بین شبکه گسترده ملی و شبکه های محلی وجود دارند، قسمتی از شبکه توزیع به حساب می آیند.



۳. اندازه تولید پراکنده

❖ در تعریف آکرمین، اندازه تولید پراکنده در نظر گرفته نشده است.

❖ چرا؟

❖ ماکزیمم اندازه یک DG که به یک شبکه توزیع وصل می شود به ظرفیت شبکه بستگی دارد و شبکه های توزیع مختلف ظرفیت متفاوتی دارند.

❖ اما DG را می توان بر اساس ابعادش تقسیم بندی کرد:

- ❖ Micro distributed generation: $\sim 1 \text{ Watt} < 5 \text{ kW}$;
- ❖ Small distributed generation: $5 \text{ kW} < 5 \text{ MW}$;
- ❖ Medium distributed generation: $5 \text{ MW} < 50 \text{ MW}$;
- ❖ Large distributed generation: $50 \text{ MW} < \sim 300 \text{ MW}$.



۴. ناحیه تحویل توان

❖ در تعریف آکرمن، ناحیه تحویل توان در نظر گرفته نشده است.

❖ برای معرفی یک منبع DG که توانش فقط در یک ناحیه خاص مصرف شود لفظ Embedded DG مناسب تر است.

۵. تکنولوژی

❖ در تعریف آکرمن، نوع تکنولوژی در نظر گرفته نشده است.

○ DG می تواند تکنولوژی های متعددی را در بر بگیرد.

Renewable
Modular
CHP

distributed generation;
distributed generation;
distributed generation.



Technologies for distributed generation^a

Technology	Typical available size per modul
Combined cycle gas T.	35–400 MW
Internal combustion engines	5 kW–10 MW
Combustion turbine	1–250 MW
Micro-Turbines	35 kW–1 MW
<i>Renewable</i>	
Small hydro	1–100 MW
Micro hydro	25 kW–1 MW
Wind turbine	200 Watt–3 MW
Photovoltaic arrays	20 Watt–100 kW
Solar thermal, central receiver	1–10 MW
Solar thermal, Lutz system	10–80 MW
Biomass, e.g. based on gasification	100 kW–20 MW
Fuel cells, phosacid	200 kW–2 MW
Fuel cells, molten carbonate	250 kW–2 MW
Fuel cells, proton exchange	1 kW–250 kW
Fuel cells, solid oxide	250 kW–5 MW
Geothermal	5–100 MW
Ocean energy	100 kW–1 MW
Stirling engine	2–10 kW
Battery storage	500 kW–5 MW



۶. اثرات زیست محیطی

- ❖ در تعریف آکرمین، اثرات زیست محیطی در نظر گرفته نشده است.
- ❖ چرا که بررسی اثرات زیست محیطی تولید پراکنده بسیار پیچیده است. (شامل direct emission و indirect emission)

۷. مد عملکرد

(مثلا دارای قابلیت برنامه پذیر بودن و قابل دیسپچ بودن)

- ❖ در تعریف آکرمین، مد عملکرد در نظر گرفته نشده است.

۸. مالکیت

- ❖ در تعریف آکرمن، مالکیت در نظر گرفته نشده است.
- ❖ گرچه در برخی کشورها بیان می شود که DG باید مالک های مستقل از شرکت های بزرگ و دولتها داشته باشد و یا مالک آنها خود مصرف کننده ها باشد، ولی این امر کلی نیست.

۹. نفوذ تولید پراکنده

- (یعنی چه مقدار از توان مصرفی شبکه را تولید کند)
- ❖ در تعریف آکرمن، میزان نفوذ در نظر گرفته نشده است.



تعریف تولید پراکنده

○ بنابه تعریف آکرمین، در تعریف DG محل نصب واحد تولیدی نسبت به ظرفیت آن اهمیت بیشتری دارد. DG بنابراین چنین تعریف می شود:

یک منبع تولید توان الکتریکی که به صورت مستقیم به شبکه توزیع نصب شود و یا در سمت مصرف کننده میتر باشد.



منبع پراکنده چیست؟

❖ distributed resources are:

“demand- and supply-side resources that can be deployed throughout an electric distribution system to meet the energy and reliability needs of the customers served by that system. Distributed resources can be installed on either the customer side or the utility side of the meter”.

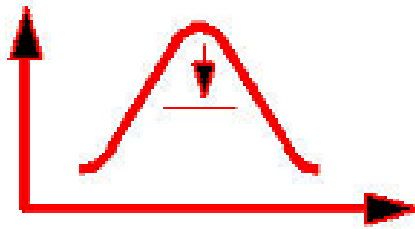


منبع پراکنده چیست؟

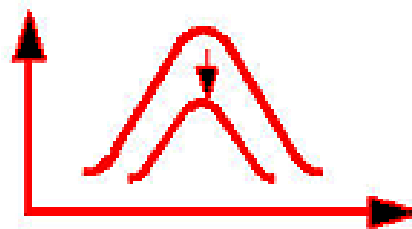
- ❖ demand-side resources, such as load management systems, to move electricity use from peak to off peak periods, and energy efficiency options, e.g. to reduce peak electricity demand, to increase the efficiency of buildings or drives for industrial applications or to reduce the overall electricity demand. An **important aspect** of the concept of distributed resources is that the demand-side resources are **not only based on local generation** within the electrical system on the customer's side of the meter, **but also on means that reduce customer demand**. That will influence the electricity supply from the distribution network.

سیاست های ۶ گانه مدیریت بار

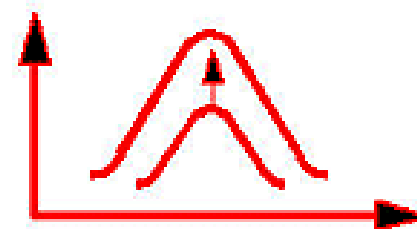
- ❖ Peak clipping Load shifting Valley filling
- ❖ Conservation Load building Flexible load shape



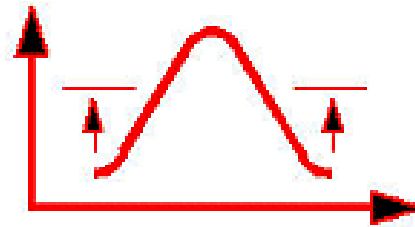
Peak Clipping



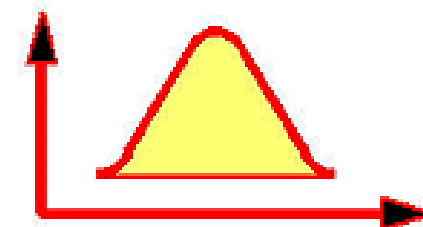
Conservation



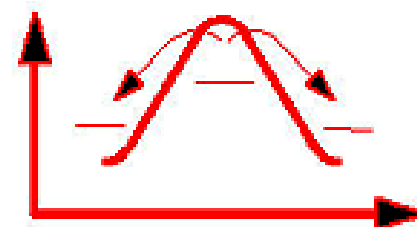
Load Building



Valley Filling



Flexible Load Shape



Load Shifting



ظرفیت پراکنده چیست؟

- ❖ **Distributed capacity** now includes **all aspects** of **distributed generation** and **distributed resources** plus **reserve capacity**, e.g. stand-by generators or load management, to minimize the requirements for over-dimensioning of transmission/distribution system.