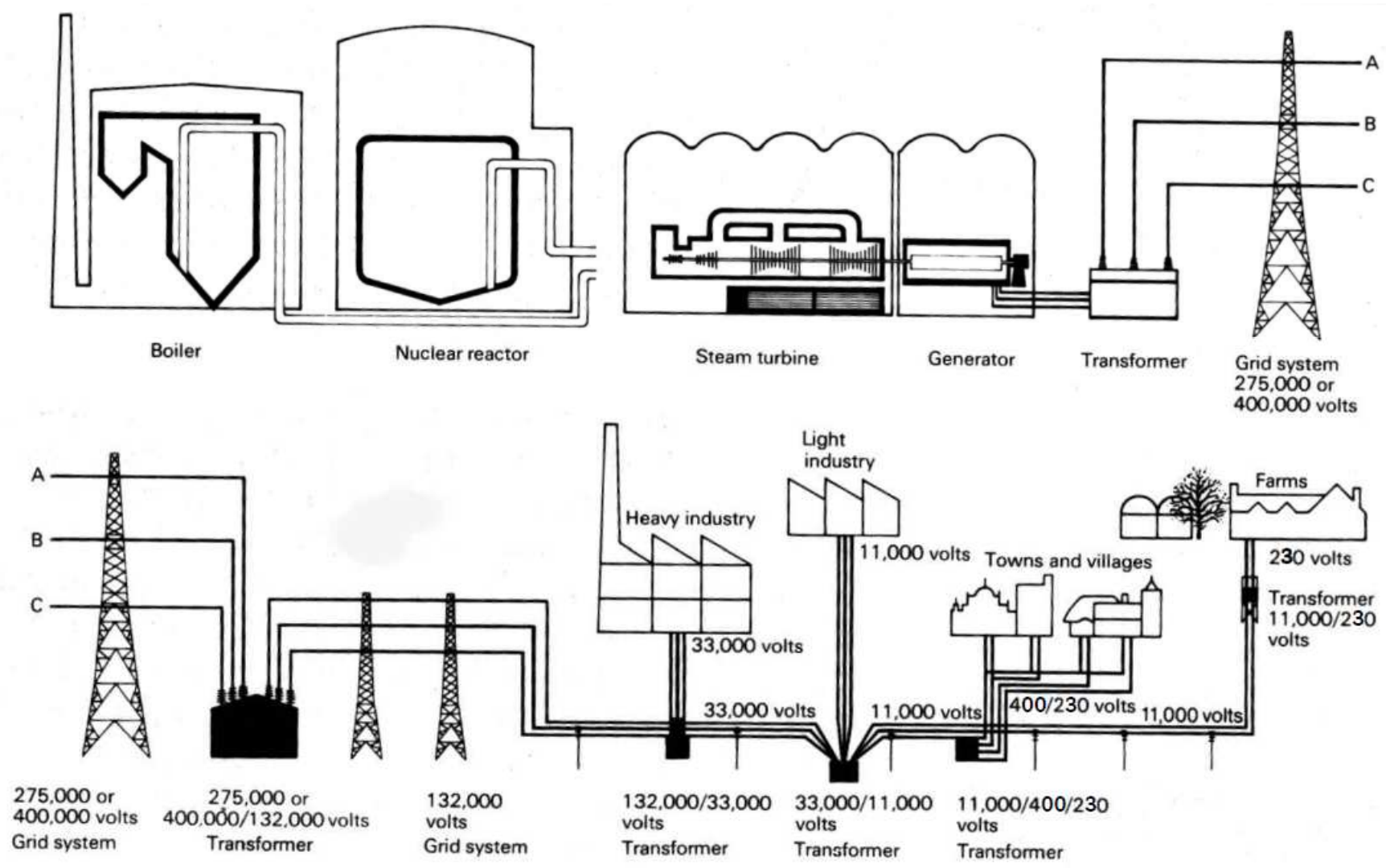
ژنراتورهای تولید پراکنده و تاثیرات آنها بر روی شبکه های قدرت

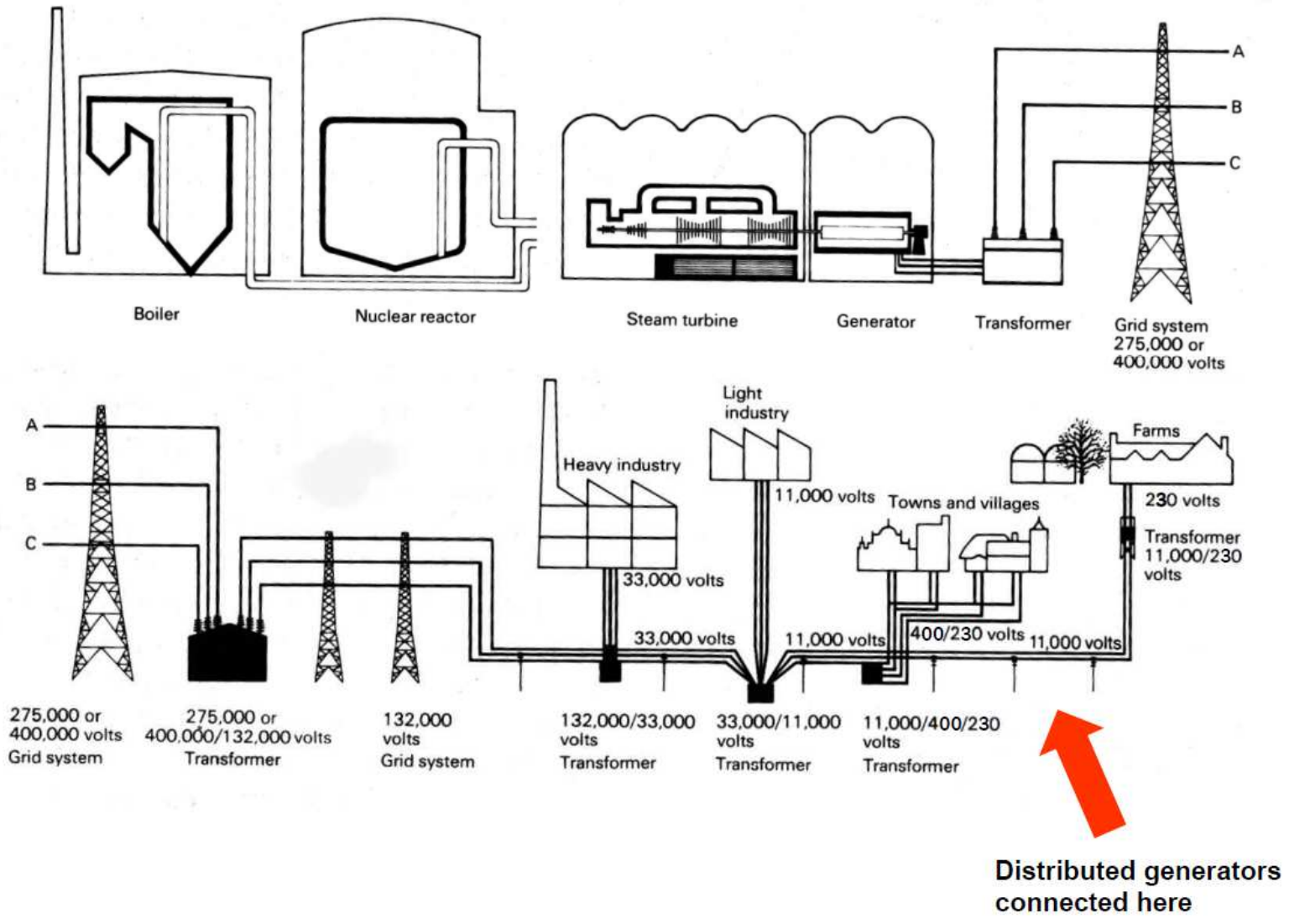
- بررسی روش های تولید انرژی پراکنده
- تاثیرات تولید انرژی های پراکنده برروی شبکه های قدرت
- بررسی تاثیر تولید انرژی پراکنده بر روی حفاظت سیستم های قدرت
- بررسی حالت جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده
- حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

محمد زاغری
خرداد ماه ۱۳۹۳

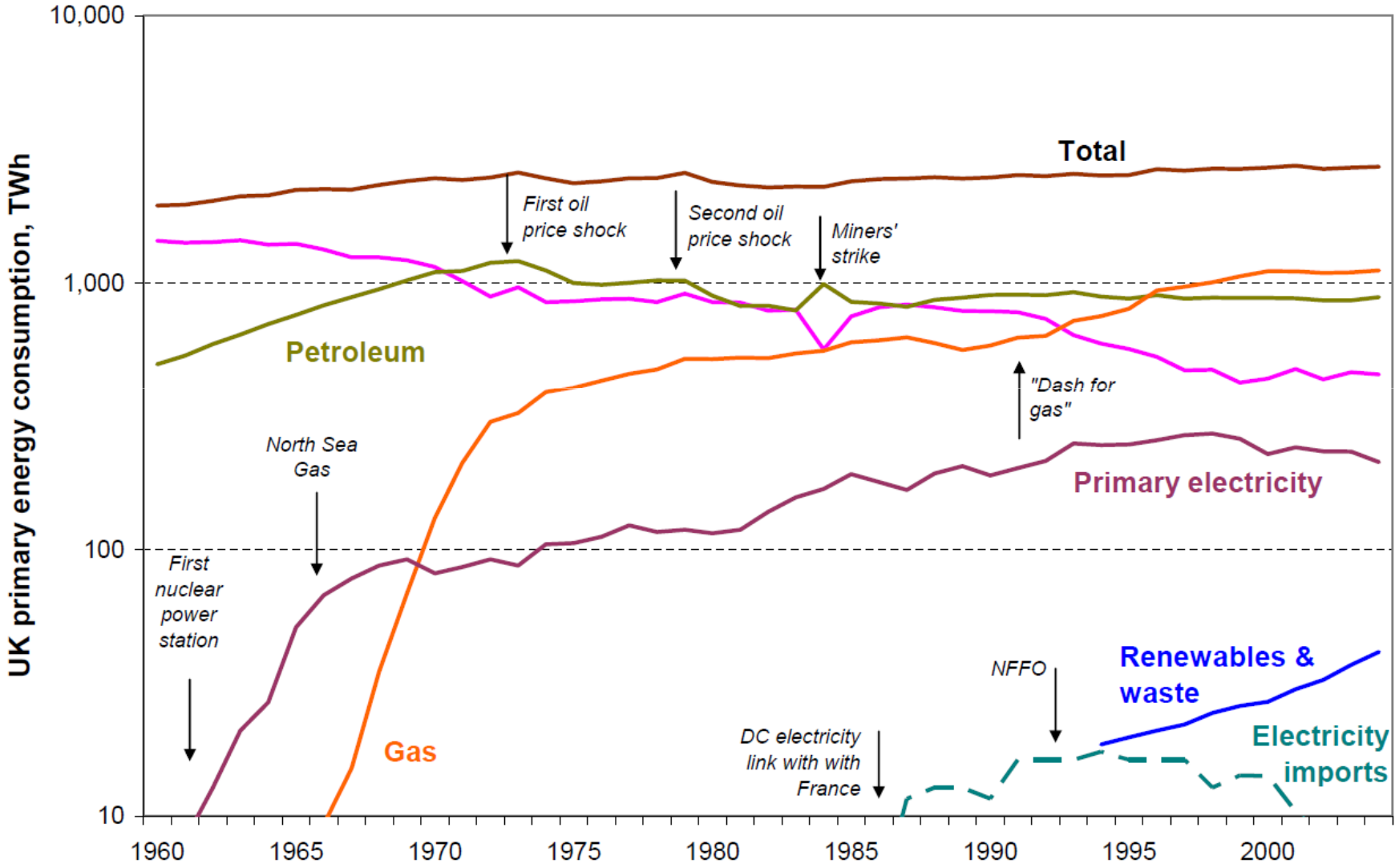
تولید انرژی به صورت قدیمی و شبکه اتصال



محل قرار گیری ژنراتور های تولید پراکنده



میزان استفاده از انرژی های تجدید پذیر در کشور های مختلف

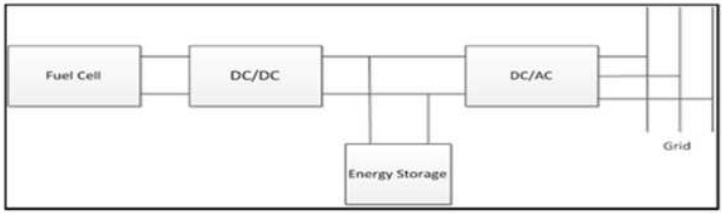
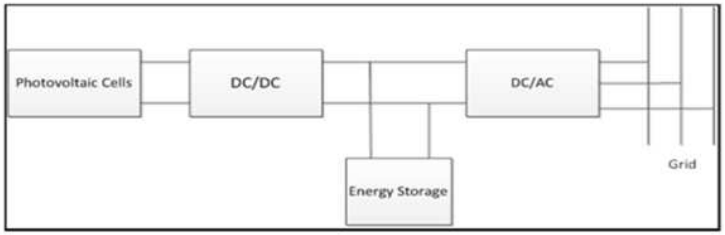
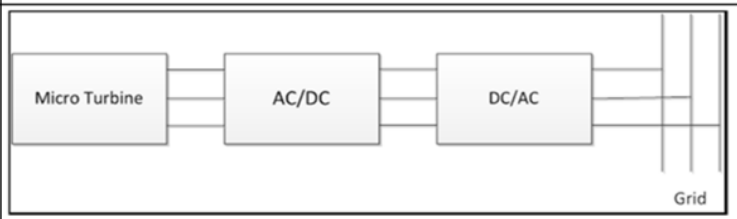
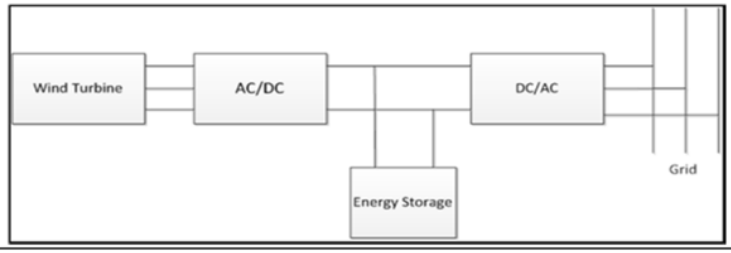


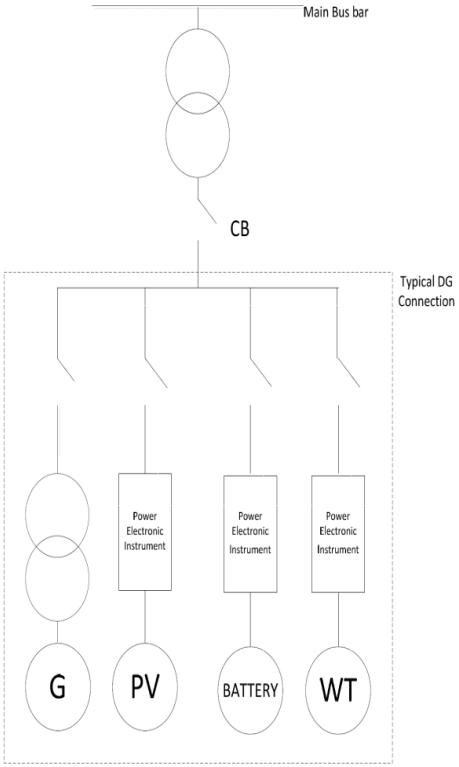
Source: Dukes

بررسی روش های تولید انرژی پراکنده

- سیستم های تولید انرژی پراکنده و انرژی های تجدید پذیر
  1. سیستم های تولیدی با اتصال مستقیم ژنراتور به شبکه برق سراسری
  2. سیتم های تولیدی با ااتصال غیر مستقیم ژنراتور به شبکه برق سراسری
- انواع اتصال به شبکه سیستم های تولید پراکنده
  1. سنکرون کردن ژنراتور با شبکه سراسری به صورت قدیمی
  2. اتصال ژنراتور به شبکه سراسری توسط مبدل ها
  3. تولید انرژی و اتصال به شبکه توسط مبدل ها (سیستم های خورشیدی و پیل سوختی)

انواع اتصال به شبکه سیستم های تولید پراکنده

Type	Connection Configuration	Functions
Fuel Cell		Fuel Cell produces low voltage DC. The energy is boosted to high voltage DC; Some of the energy is stored in batteries. Inverter, invert DC to 3 Phase AC grid voltage.
Photovoltaic Cells		Solar Cells produce low voltage DC. The energy boosts to high voltage DC, Some of energy store in batteries. Inverter, invert DC to 3 Phase AC grid voltage.
Micro Turbine		Micro Turbine produces high frequency AC, which AC/DC and DC/AC fix the problems of synchronising.
Wind Turbine		Wind Turbine produce variable frequency AC, which AC/DC and DC/AC fix the problems of synchronising.



"Distribution Generation Education Modules," The National Science Foundation, Virginia Tech, 2007.

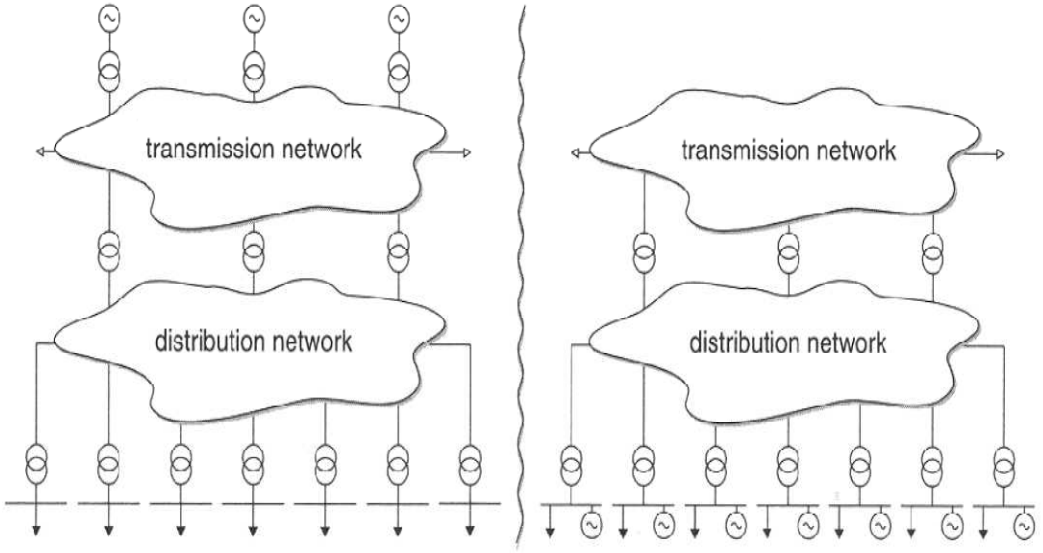
B. Hussain, *Protection of distribution networks with distributed generation, Thesis (Ph.D.)* -University of Southampton,

تاثیرات تولید انرژی های پراکنده برروی شبکه های قدرت

- تاثیرات بر شبکه قدرت و دیماند مصرفی و تولیدی
- تاثیر بر رگولاسیون ولتاژ در شبکه
- تاثیرات هارمونیکی در شبکه قدرت
- تاثیر بر سیستم های حفاظتی شبکه
- حفاظت جزیره ایی

تاثیرات بر شبکه قدرت و دیماند مصرفی و تولیدی

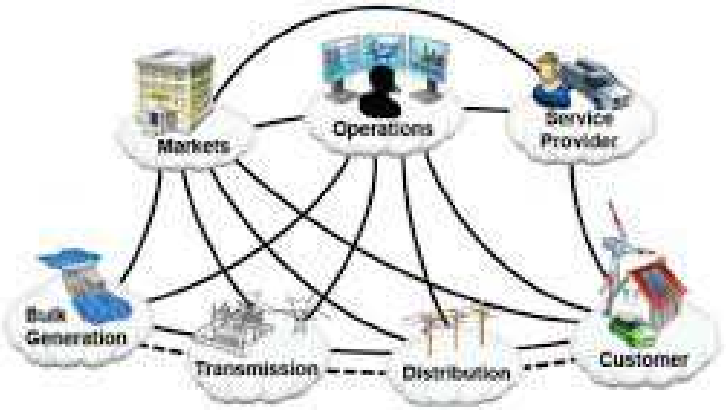
- اتصال شبکه های قدرت به صورت رادیال است
- محل قرار گیری ژنراتور های تولید مشخص است
- نحوه تولید توسط ترانسفورماتورهای افزاینده است



- اتصال به شبکه به صورت رادیال نیست
- محل قرار گیری ژنراتور های تولید مشخص نیست
- نحوه تولید عموما بدون ترانسفورماتور افزاینده میباشد

تاثیرات بر شبکه قدرت و دیماند مصرفی و تولیدی

با توجه به اینکه تولید در شبکه های قدرت بر اساس کنترل دیماند صورت میگیرد و همیشه تولید بیشتر از مصرف می باشد در صورتی که از ژنراتور های تولید پراکنده استفاده گردد کنترلی بر تولید وجود نداشته و فقدان این اطلاعات باعث کاهش توانایی کنترل بر تولید می گردد لذا استفاده از سیستم های کنترل شبکه هوشمند (Smart Grid Control) به صورت نیاز اساسی در کنترل سیستم جزو ملزومات کنترل شبکه میگردد.



High-level configuration of a smart grid.

Image source: public.asu.edu.

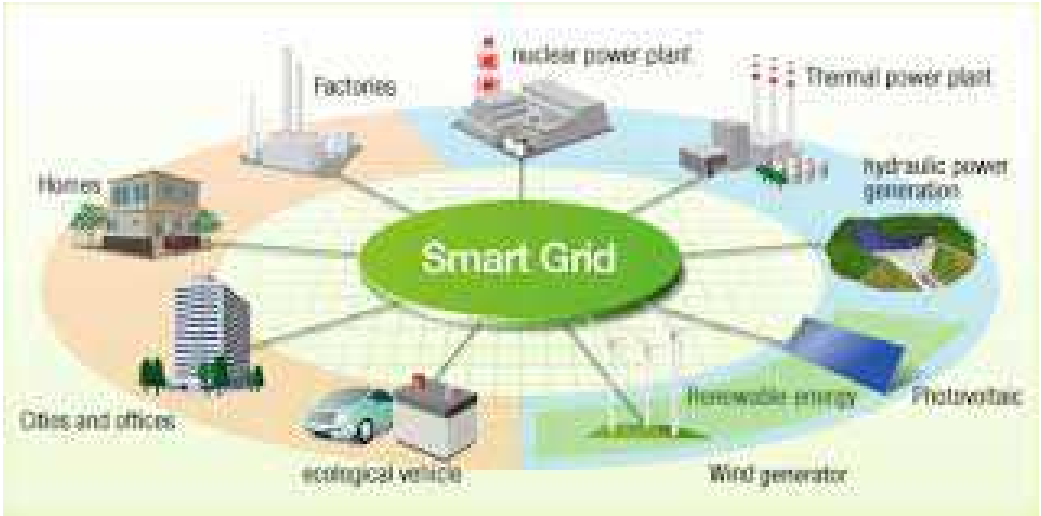
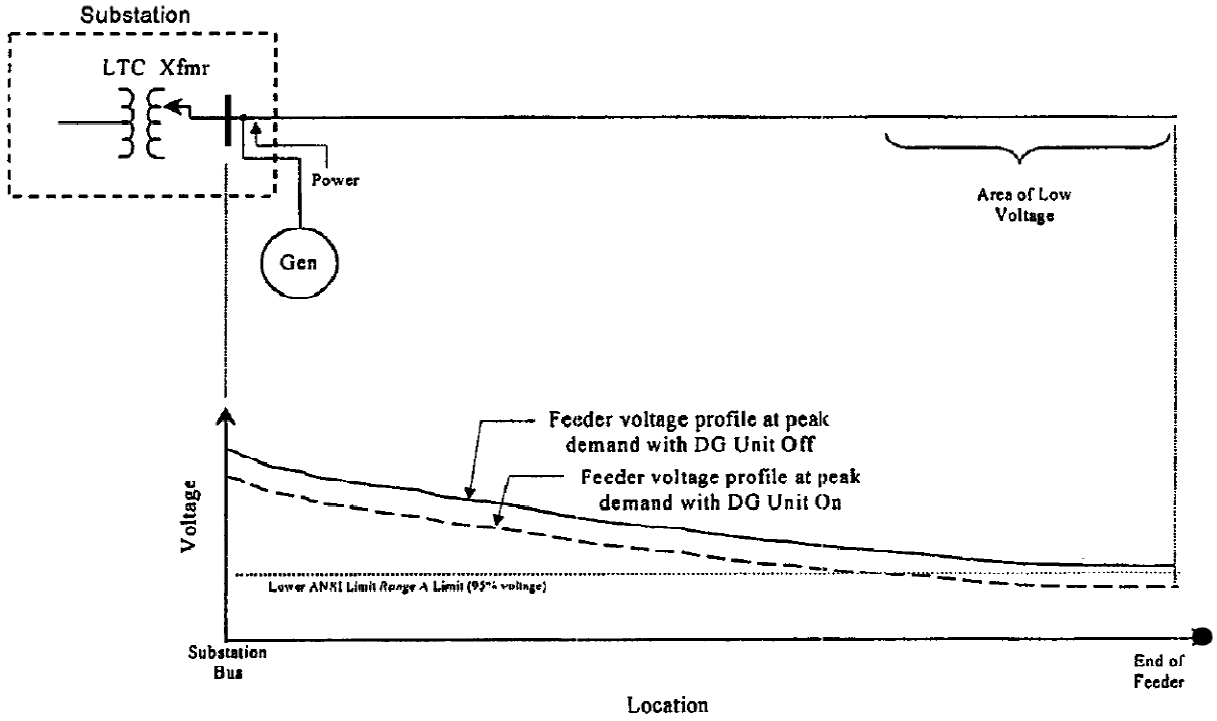


Image Source: www.image.google.com

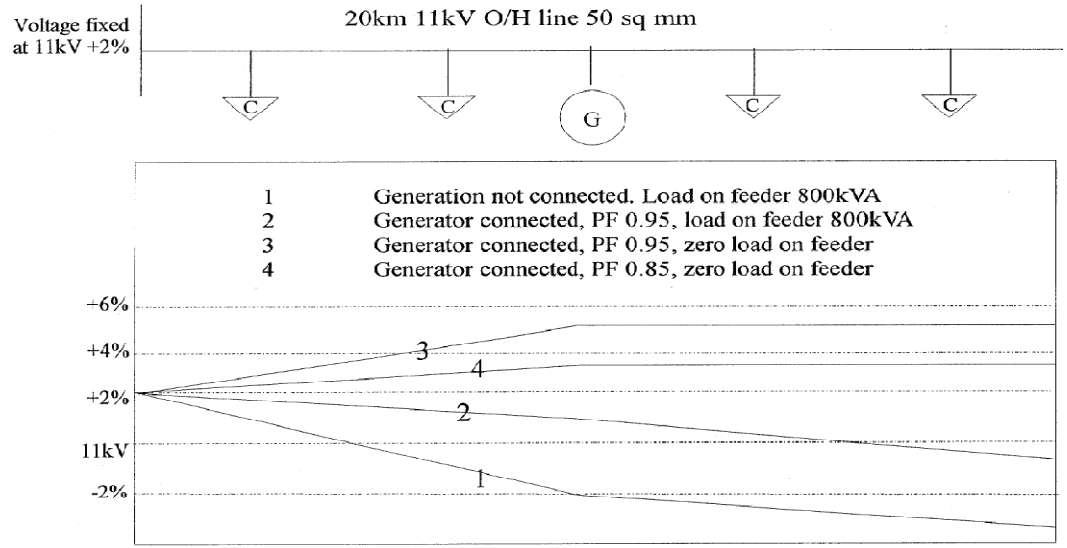
تاثیرات بر رگولاسیون ولتاژ در شبکه

سیستم شبکه توزیع به صورت رادیال بوده و رگولاسیون ولتاژ توسط تپ چنجر بر روی ترانسفورماتور بالادست و یا رگولاتورهای ولتاژ و یا خازن ها صورت می گیرد.



P. P. Barker and R. W. de Mello, “Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 - Radial Distribution Systems,” *IEEE*

تاثیرات بر رگولاسیون ولتاژ در شبکه

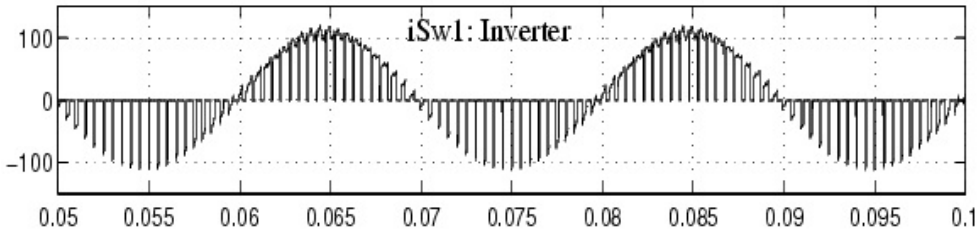


- کنترل ولتاژ در رنج مورد نظر از پست به فیدر توسط AVR
- عدم نیاز به رگولاسیون ولتاژ در حالت کم باری فیدر
- تتاثیر بر روی تلفات فیدر
- ظرفیت خطوط و یا کابل ها در اتصال فیدر
- تقابل بین دستگاه های تنظیم کننده ولتاژ و DG
- افزایش ولتاژ فیدر خارج از استاندارد در حالت کم باری
- تقابل استفاده از دستگاه های کنترل تلفات اعم از خازن ها و DG ها که نیازمند مطالعات سیستم است.
- مطالعات شبکه جهت بهینه سازی نقطه تزریق

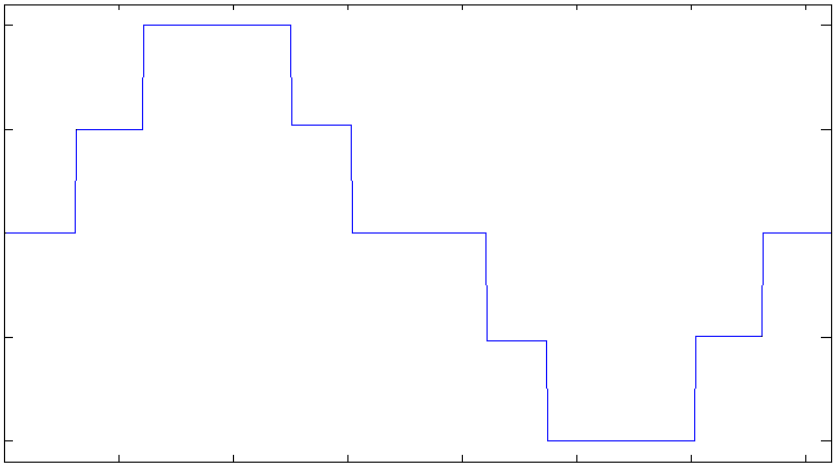
G. Hodgkinson, “System implications of embedded generation and its protection and control PES perspective,” *IEEE*

تاثیرات هارمونیکی در شبکه قدرت

هارمونیک ها توسط DG ها در شبکه تولید می شوند که این هارمونیک ها وابسته به نحوه اتصال ژنراتور به شبکه می باشند. در سیستم هایی که اتصال ژنراتور به صورت مستقیم صورت می گیرد سیم پیچ ژنراتور ها تولید هارمونیک می کند (هارمونیک سوم) که در این صورت استفاده از سیستم زمین و ترانسفورماتور های افزاینده این تاثیر را کاهش میدهد. در سیستم هایی که با مبدل ها (DC/AC و AC/AC) ژنراتور به شبکه متصل می گردد این تاثیر کمتر می باشد ولی در سیستم هایی که با SCR به شبکه متصل میگردد (کمتاسیون خطی) این هارمونیک ها بسیار زیاد تر از زمانی است که با مبدل هایی با تکنولوژی پیشرفته تر (IGBT) که از PWM ها استفاده میکنند به شبکه تصل می گردند. به هر حال تاثیرات هارمونیکی در شبکه به نسبت مابقی تاثیرات دارای اثر کمتری می باشند.



New types of inverters



Old types of inverters

Image Source: www.image.google.com

بررسی تاثیر تولید انرژی پراکنده بر روی حفاظت سیستم های قدرت

- تاثیر بر روی جریان اتصال کوتاه و حفاظت تجهیزات
- نحوه تاثیر بر روی جریان خطا
- تاثیر بر حفاظت ریکلوزر ها
- حفاظت جزیره ایی
- حفاظت نقطه تزریق

تاثیر بر روی جریان اتصال کوتاه و حفاظت تجهیزات

- افزایش جریان خطا
  - محل وقوع خطا و فاصله با محل قرار گیری ژنراتور
  - نوع و سایز ژنراتور
  - استفاده از محدود کننده های جریان خطا
  - سیستم حفاظتی ژنراتور

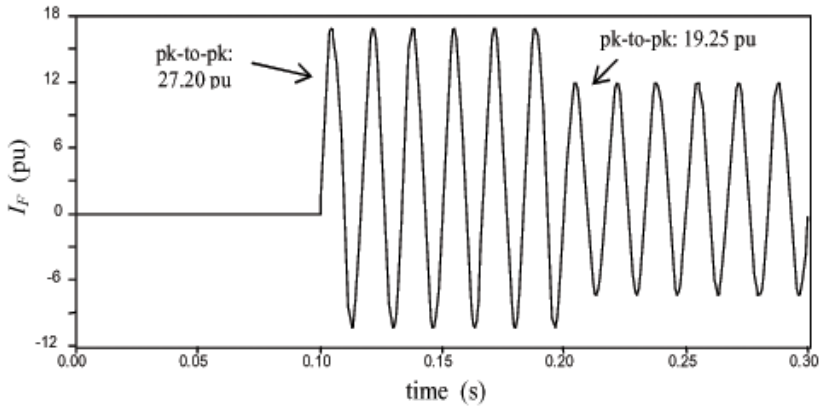


Figure 11: Total phase-to-ground fault current reduction: (a) Positive sequence application of V_{se}, (b) Zero sequence application ofV_{se}

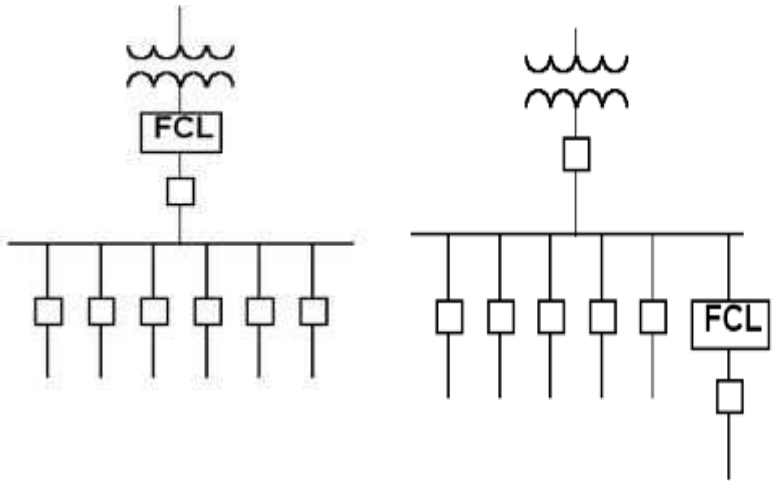
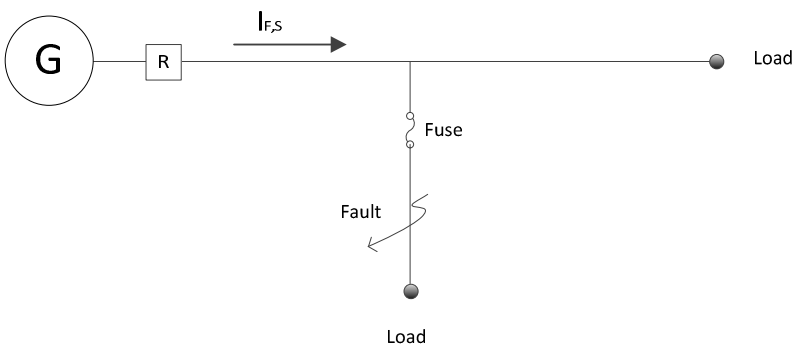
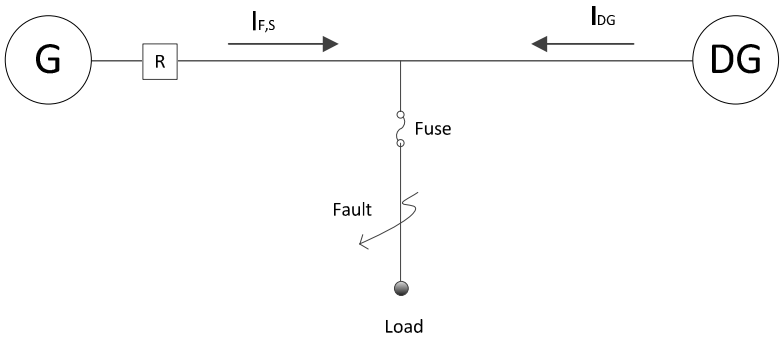


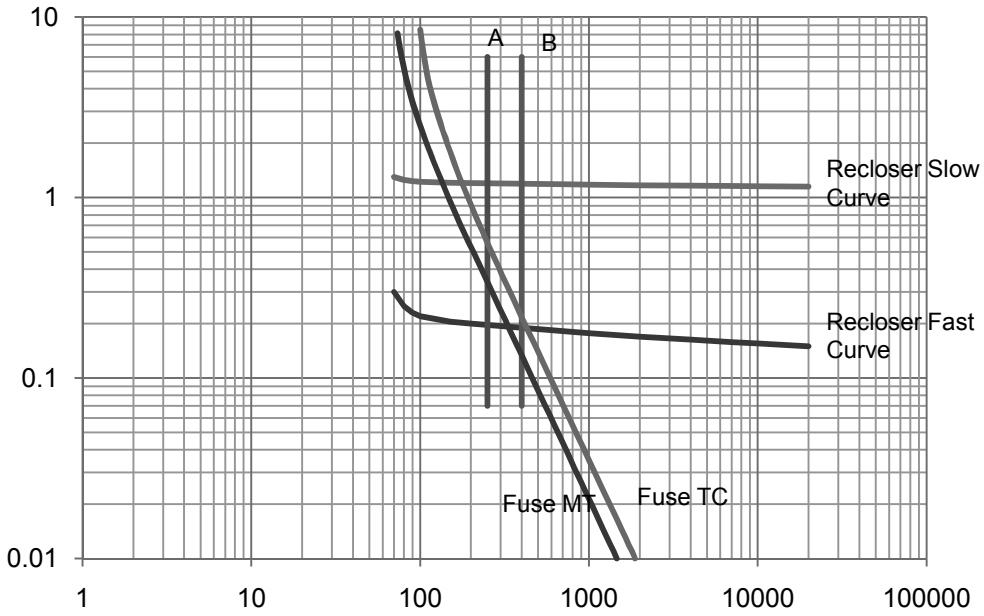
Image Source: www.image.google.com

نحوه تاثیر بر روی جریان خطا

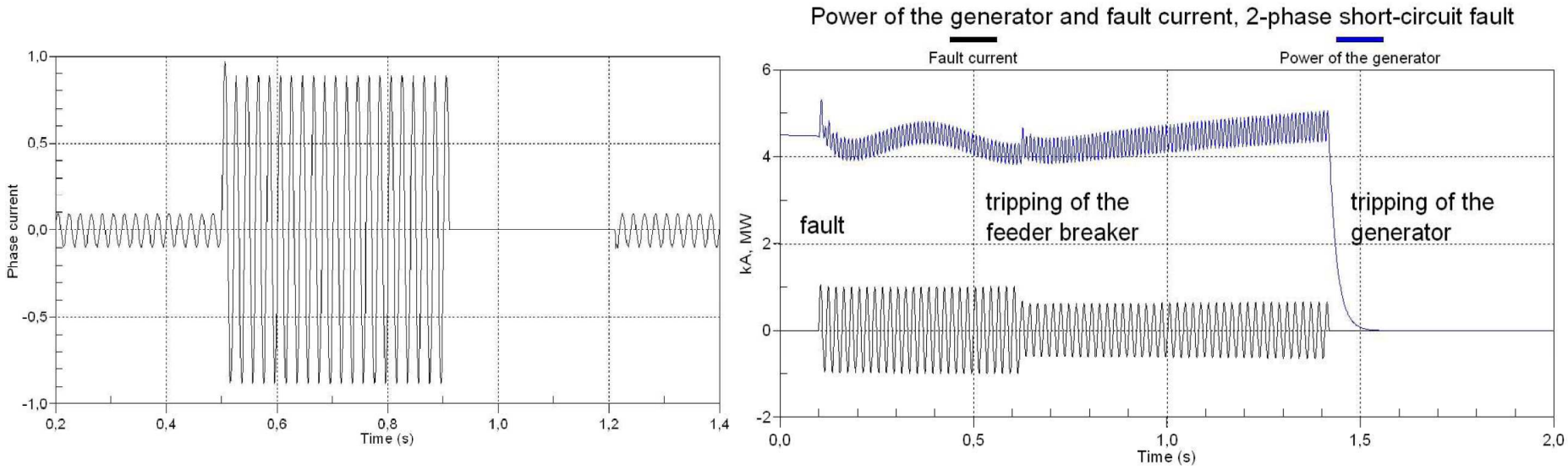
- تاثیر بر روی جریان خطا و هماهنگی تجهیزات حفاظتی







تاثیر بر حفاظت ریکلوزر ها

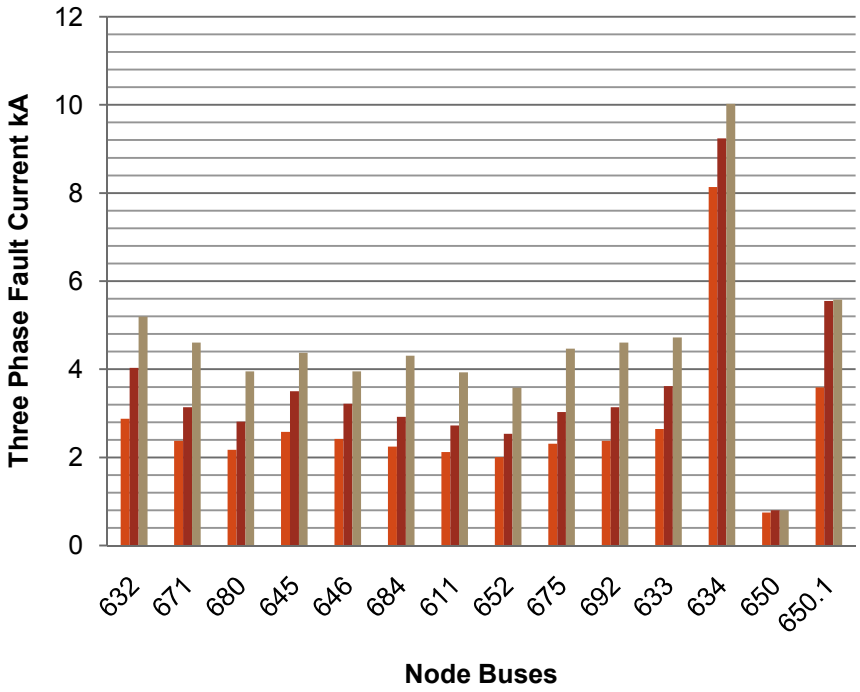


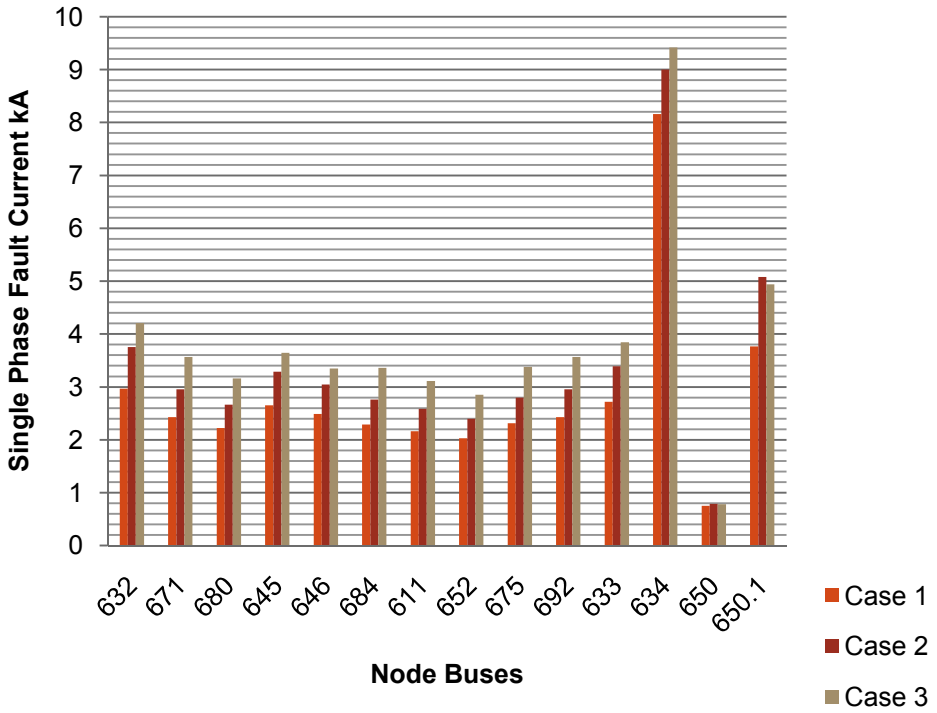
- محدود کردن زمان خطا: زمان خطا نباید به حدی باشد که به ژنراتور صدمه وارد گردد.
- ژنراتور نباید در زمان وقوع خطاهای گذرا به شبکه متصل باشد؛ حفاظت جزیره ایی باید وجود داشته باشد.

L. Kumpulainen and K. Kauhaniemi, *Distributed Generatorand Reclosing Coordination, Finland:* VTT Technical Research Centre.

مقایسه جریان های اتصال کوتاه

- دیاگرام تغییرات جریان اتصال کوتاه پس از استفاده از DG در شبکه

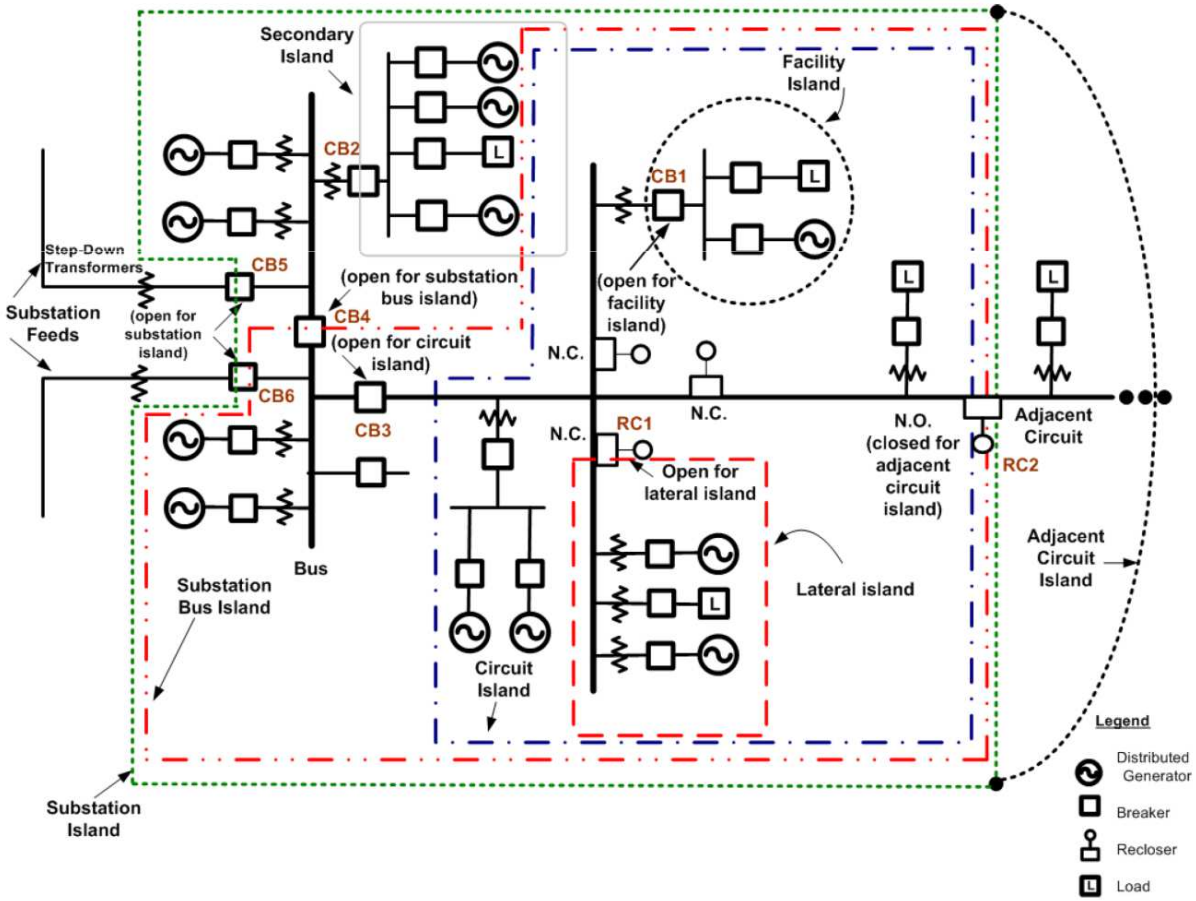




بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

- **شرایط به وجود آمدن جزیره چیست؟**

حالت جزیره به شرایطی گفته میشود که ژنراتور در حال تغذیه بار های شبکه باشد زمانی که کلید فیدر بالادست به دلیل وقوع خطا باز باز باشد.



بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

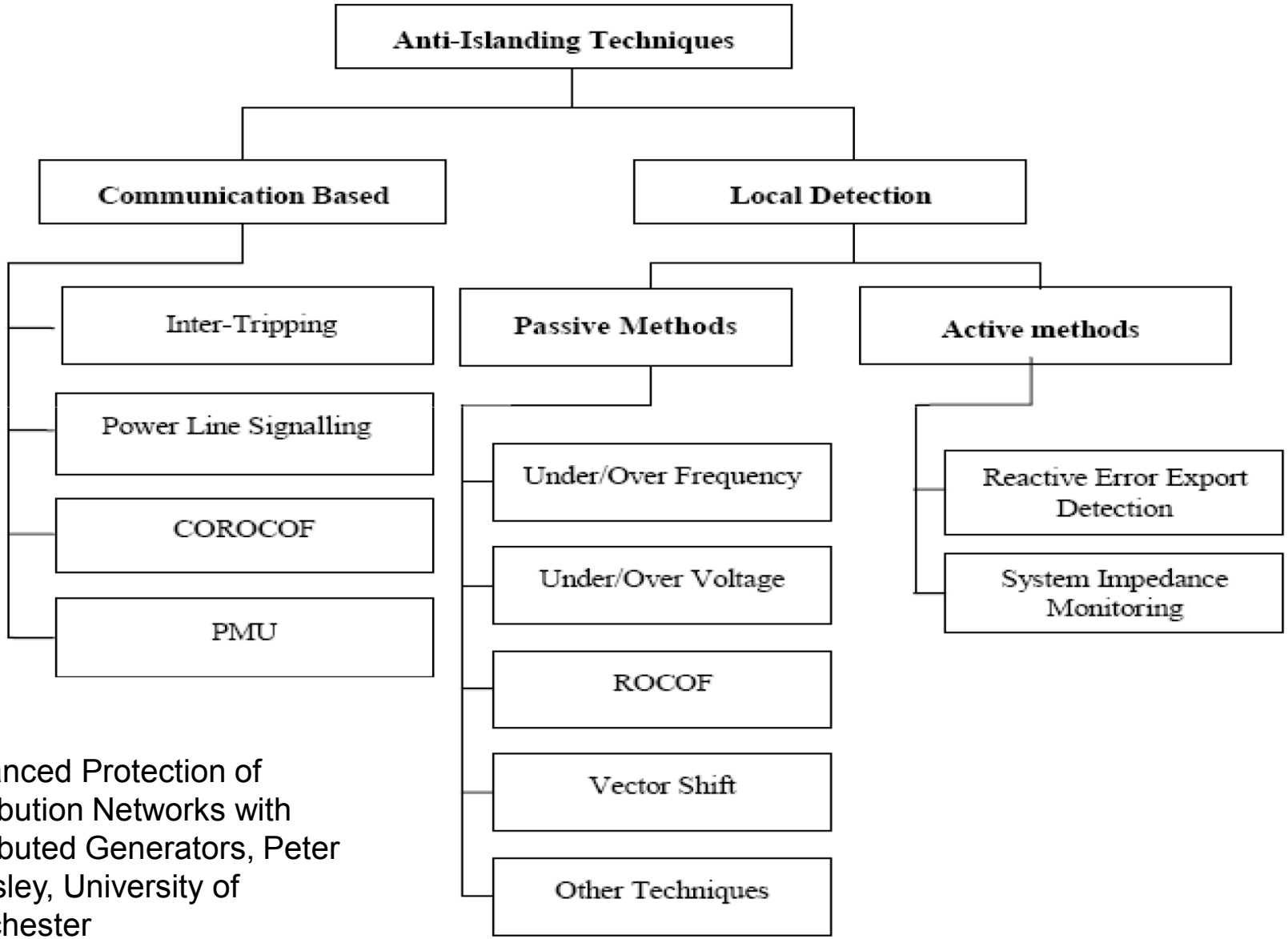
- چرا شرایط جزیره ایی قابل قبول نیست.

1. بستن کلید بالادست بسیار مشکل بوده در شرایطی که ژنراتور جزیره ایی داریم.
2. توان مطلوب را معمولا ژنراتور های تولید پراکنده نمی توانند تولید کنند.

- استانداردهای مهم و روش های تشخیص شرایط جزیره ایی

IEEE 1547	BDEW
UL 1741	G59/G81
استاندارد شرکت توانیر	IEEE 929-2000

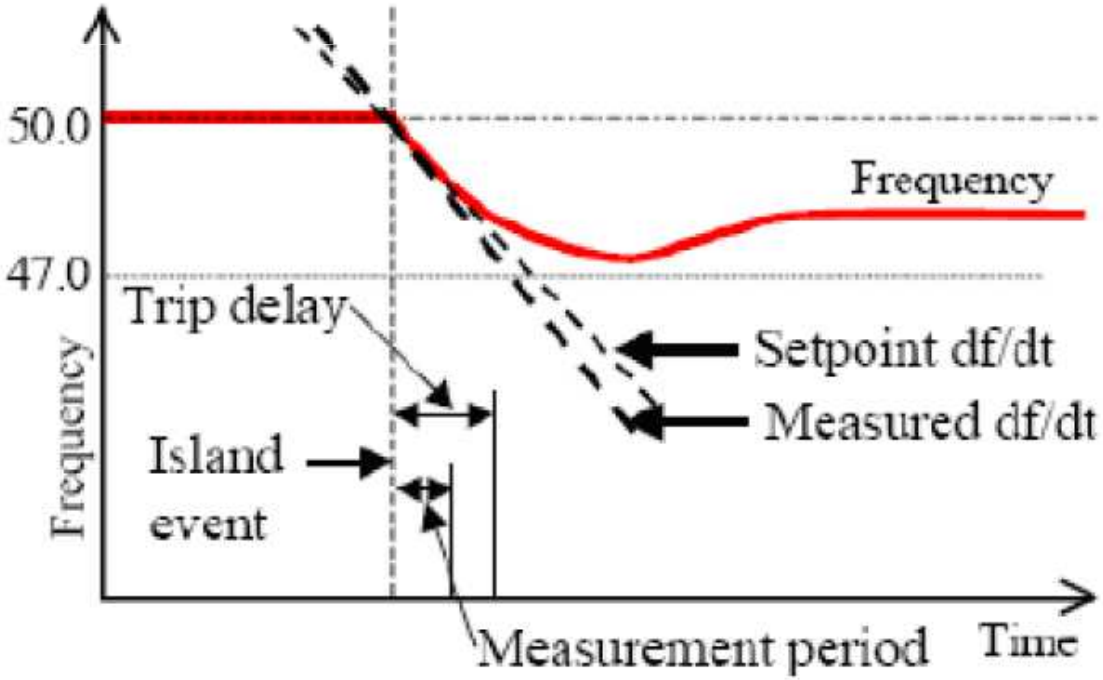
Islanding Detection Techniques



Advanced Protection of Distribution Networks with Distributed Generators, Peter Crossley, University of Manchester

بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

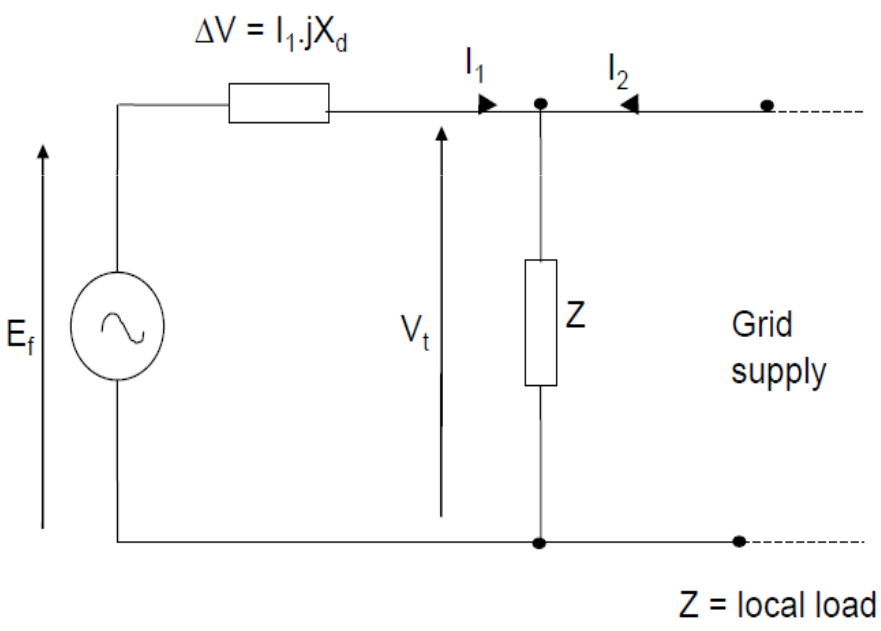
- Under/Over Voltage
- Under/Over Frequency
- ROCOF (Rate Of Change Of Frequency)

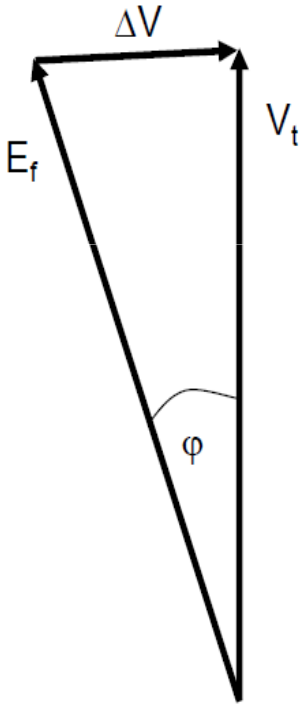


Advanced Protection of Distribution Networks with Distributed Generators, Peter Crossley, University of Manchester

بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

- Vector Shift



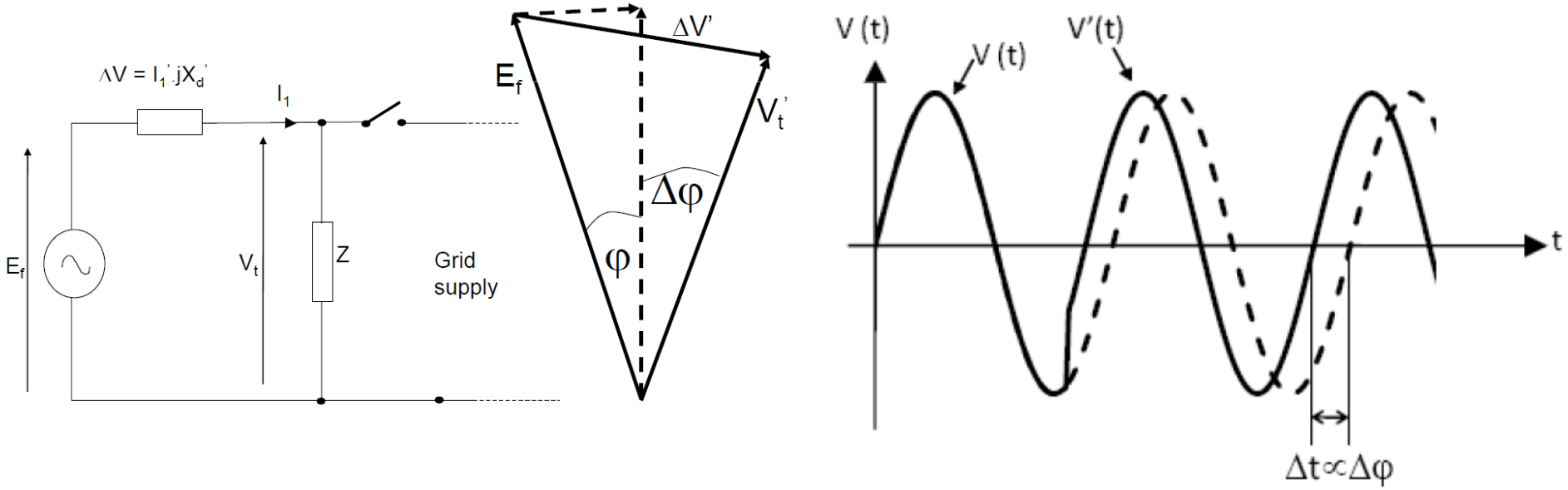


Vt: ولتاژ ترمینال ژنراتور
Ef: emf ژنراتور سنکرون
ϕ: زاویه جابه جایی روتور

Advanced Protection of Distribution Networks with Distributed Generators, Peter Crossley, University of Manchester

بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

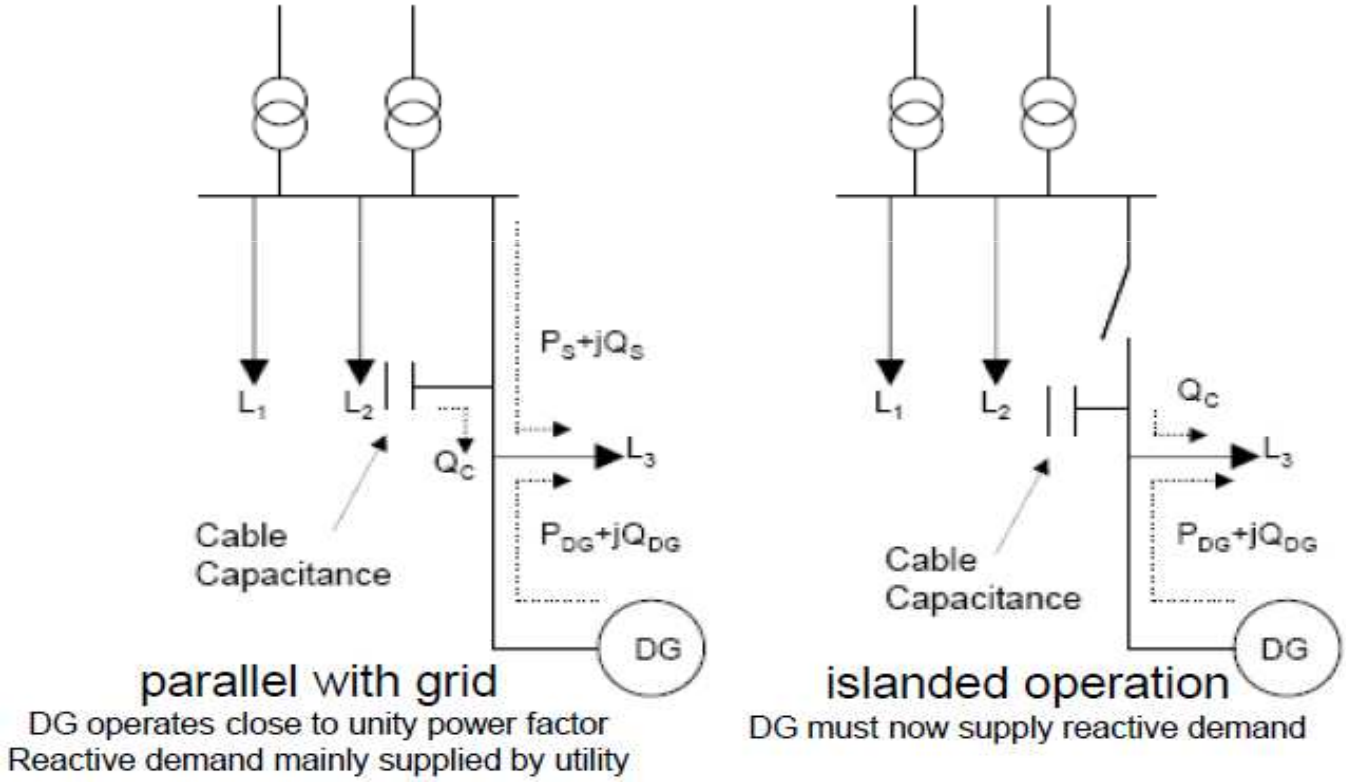
در حالت خطا بار بر روی ژنراتور افزایش می یابد در نتیجه زاویه روتور بیشتر میگردد.



Advanced Protection of Distribution Networks with Distributed Generators, Peter Crossley, University of Manchester

بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

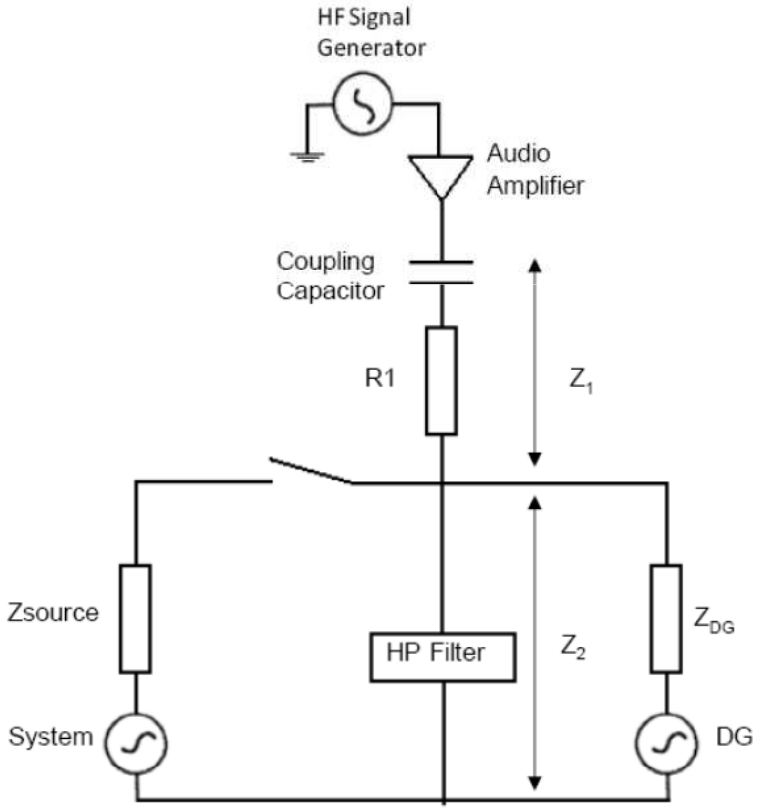
- Reverse Reactive Power Scheme



Advanced Protection of Distribution Networks with Distributed Generators, Peter Crossley, University of Manchester

بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

- System Impedance Monitoring



- در زمان وصل بودن ژنراتور به شبکه امپدانس دیده شده از جانب ژنراتور کم میباشد.
- در زمانی که شبکه به هر دلیلی قطع میگردد این امپدانس افزایش چشم گیری پیدا میکند.
- عملکرد سریع رله در زمان تعیین شده

Advanced Protection of Distribution Networks with Distributed Generators, Peter Crossley, University of Manchester

بررسی شرایط جزیره ایی ژنراتور های تولید پراکنده

- روش های دیگر تشخیص شرایط جزیره ایی
  1. Intertripping
  2. Fault Thrower
  3. Neutral Voltage Displacement (NVD)
  4. مونیتورینگ سیستم بر اساس تغییرات فرکانس بر توان $\partial f / \partial p_1$
  5. استفاده از رله اضافه جریان جهت دار(Directional Over-current)

حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

- مواردی که در طراحی سیستم حفاظتی میبایست مد نظر قرار گیرند:

1. سیستم حفاظتی میبایست حفاظت عدم عملکرد ژنراتور به صورت موازی با شبکه را پوشش دهد.
2. حفاظت ژنراتور در برابر هرگونه خطا از سمت شبکه همانند حالت حفاظت ژنراتور در عملکرد ریکلوزر خط.
3. عدم عملکرد در برابر عملکرد عادی ژنراتور در زمان انتقال قدرت به شبکه.
4. حفاظت شبکه در برابر خطاهایی که توسط ژنراتور در زمان خطای شبکه تولید میگردند. خطاهای اضافه جریان و اضافه ولتاژ.

حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

- حداقل ستینگ های حفاظتی بر اساس استانداردهای توانیر
  - هارمونیک ها

مرتبهٔ هارمونیک	$h<11$	$11\le h<17$	$17\le h<23$	$23\le h<35$	$h\ge 35$	THD[۱۵]
درصد دامنهٔ هارمونیک نسبت به مؤلفهٔ اصلی	۴/۰۰	۲/۰۰	۱/۵	۰/۶	۰/۳	۵/۰۰

  - فلیکر

	شبکه فشارضعیف	شبکه فشار متوسط
فلیکر کوتاه مدت P_{st}	۱	۰/۹
فلیکر بلند مدت P_{lt}[۱۷]	۰/۸	۰/۷

حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

- حداقل ستینگ های حفاظتی
  - فرکانس

مقادیر نامی	فرکانس	زمان قطع
کمتر از ۳۰ kW	بیشتر از ۵۰/۴۲ هرتز	۱۰ سیکل
	کمتر از ۴۹/۴۲ هرتز	۱۰ سیکل
بزرگتر از ۳۰kW	بزرگتر از ۵۰/۴۲ هرتز	۱۰ سیکل
	بین ۴۷/۵ تا ۴۹/۸۳	تاخیر زمانی
	کمتر از ۴۷/۵	۱۰ سیکل

- ولتاژ بر اساس استاندارد شرکت توانیر

دامنه ولتاژ (درصدی از ولتاژ مبنا)	زمان قطع (s)
$V<۵۰$	۰/۲ s
$۵۵\leq V<۸۸$	۲/۴ s
$۱۱۰<V<۱۲۰$	۱/۲ s
$V\geq ۱۲۰$	۰/۲ s

حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

- حداقل ستینگ های حفاظتی
  - ولتاژ بر اساس IEEE929-2000

Voltage (at PCC)	Maximum trip time[1]
V < 60 (V < 50%)	6 cycles
60 ≤ V < 106 (50% ≤ V< 88%)	120 cycles
106 ≤ V≤ 132 (88% ≤V≤ 110%)	Normal operation
132 < V < 165 (110% < V < 137%)	120 cycles
165 ≤ V (137% ≤ V)	2 cycles

حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

- نوع ژنراتور تولید پراکنده
  1. توربین های بادی (Wind Turbine)
  2. سیستم های خورشیدی (فتوولتاییک و متمرکز کننده ها)
  3. توربین های آبی
  4. سیستم های Biomass و Bio-fuel ها
  5. CHP (Combine Heat and Power)
- بررسی سیستم های متداول در ایران
  1. توربین های بادی
  2. سیستم های فتوولتاییک

روش های تولید انرژی های نو و تجدیدپذیر متداول در دنیا

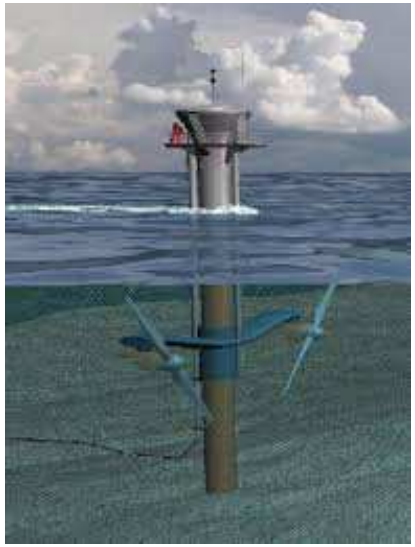
Solar Systems (PV)

Wind Energy

Biomass Systems

- Geothermal, Hydropower, Nuclear systems,…

Wave Energy &
OTEC



Tidal Power

Image Source: www.image.google.com

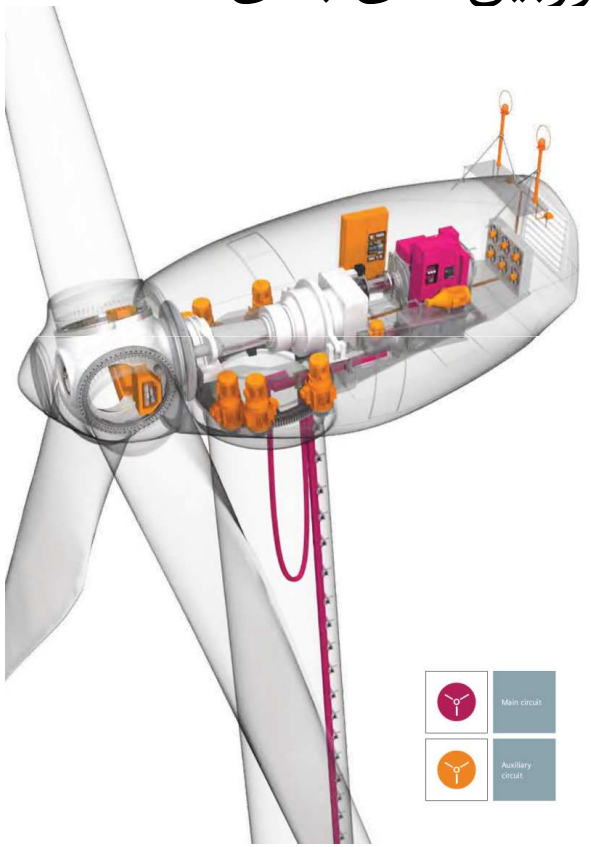
حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

ANSI Device Numbers & Functions

Device Number	Function
27P	Phase Undervoltage
27X	Auxiliary Undervoltage
32	Directional Power
32R	Reverse Power
32L	Low Forward Power
46	Stator Current Unbalance
47	Phase reversal
50BF	Breaker Failure
50P	Phase Instantaneous Overcurrent
50N	Neutral Instantaneous Overcurrent
50G	Ground Instantaneous Overcurrent
51P	Phase Time Overcurrent
51N	Neutral Time Overcurrent
51G	Ground Time Overcurrent
51V	Voltage Restrained Time Overcurrent
55	Power Factor
59P	Phase Overvoltage
59X	Auxiliary Overvoltage
59N	Neutral Overvoltage
67P	Phase Directional Overcurrent
67N	Neutral Directional Overcurrent
67G	Ground Directional Overcurrent
60V	Voltage Unbalance
81U/O	Under/Over Frequency
VTFF	VT Fuse Failure Detection

Wind Generator protection system, GE, Digital Energy, Multilin.

- توربین های بادی



Safety and protection for wind turbines, Siemens

حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

- سیستم های فتوولتاییک
  - سیستم های متصل به شبکه
  - قابلیت های اینورتر, کنترل توان خروجی (MPPT)
  - دیود بای پس

Device number	Function
27	Under Voltage
81 U/O/R	Under/Over Frequency
50	Over-current Protection
59	Over voltage
47	Phase Reversal
32	Reverse Power
25	Sync Check
	Grounding Protection

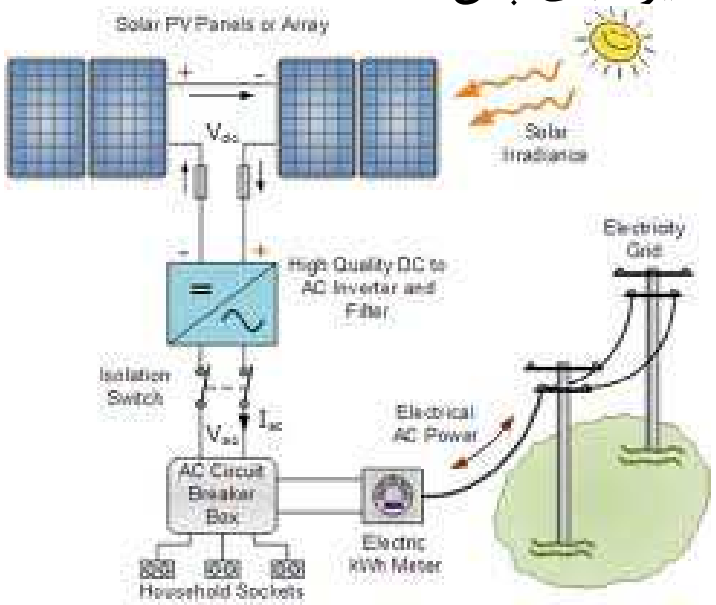


Image Source: www.image.google.com

حفاظت های ژنراتور تولید پراکنده

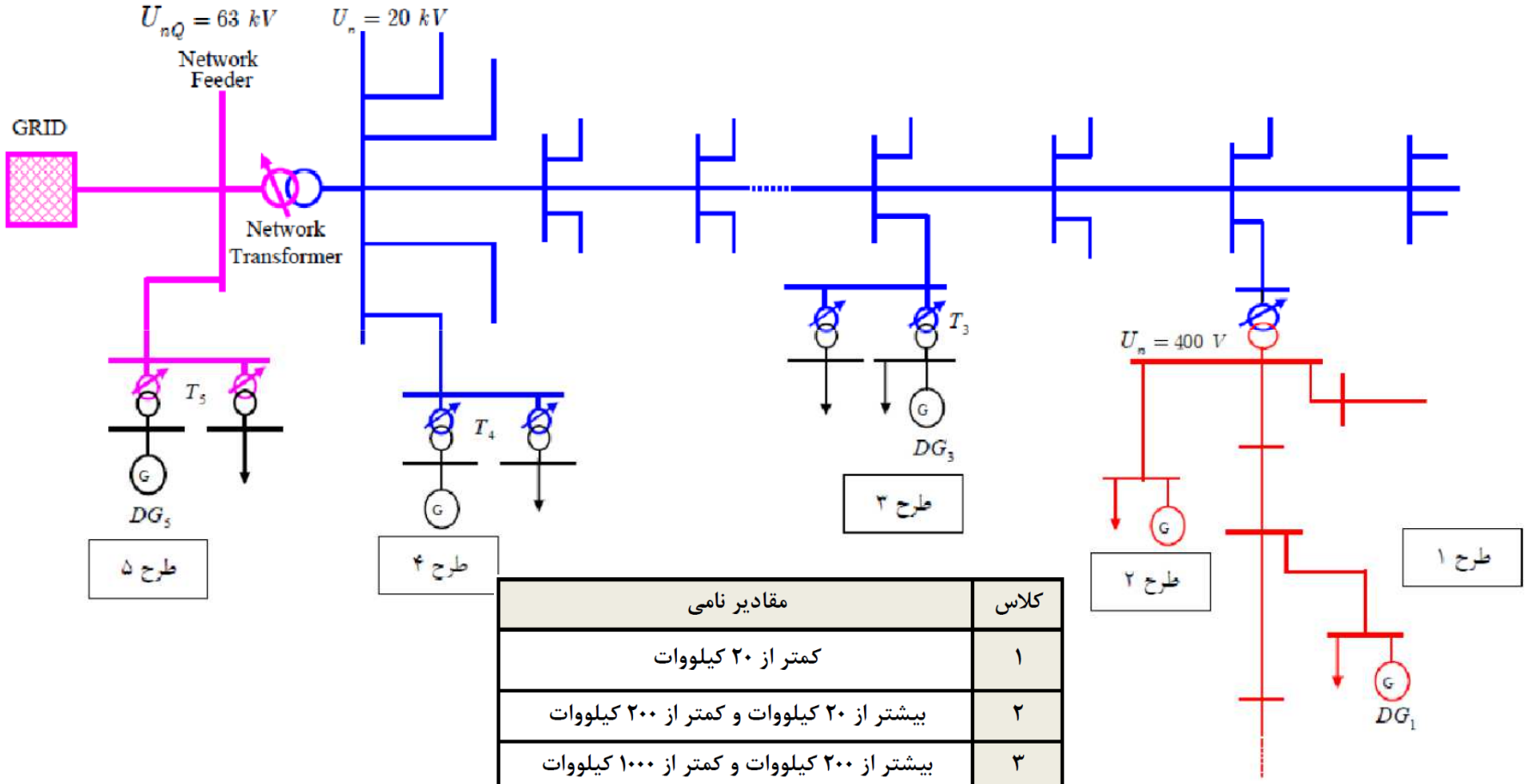
- حفاظت های جانبی
  - حفاظت از صاعقه
    - حفاظت از صاعقه نیروگاه
    - حفاظت از صاعقه تجهیزات اتصال به شبکه (ترانسفورماتور و باسبار و غیره)
  - حفاظت های فیزیکی
- تجهیزات کنترل توان راکتیو
- تست های قبل از راه اندازی نیروگاه ها و ارسال اطلاعات
  - تست های بهره برداری و الزامات اتصال بر اساس استاندارد های توانیر

اتصال نیروگاه تولید پراکنده به شبکه

بررسی نیازهای شبکه

- ظرفیت فیدر اتصال
- فیدر عمومی یا اختصاصی
- سطح اتصال کوتاه
- سنکرون کردن
- تلرانس ولتاژ
- نوسانات ولتاژ
- هارمونیک های مجاز
- هماهنگی حفاظتی
- اینترلاک ها
- سیستم زمین

نمونه های شبکه اتصال



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

راهنمای انجام مطالعه طرح فنی تهیه طرح اتصال منابع تولید پراکنده به شبکه برق, توانیر, بهمن ماه 1392

روش های ذخیره انرژی های نو در دنیا

- استفاده از اتومبیل های برقی جهت ذخیره انرژی
- تولید هیدروژن از انرژی مازاد تولید شده.

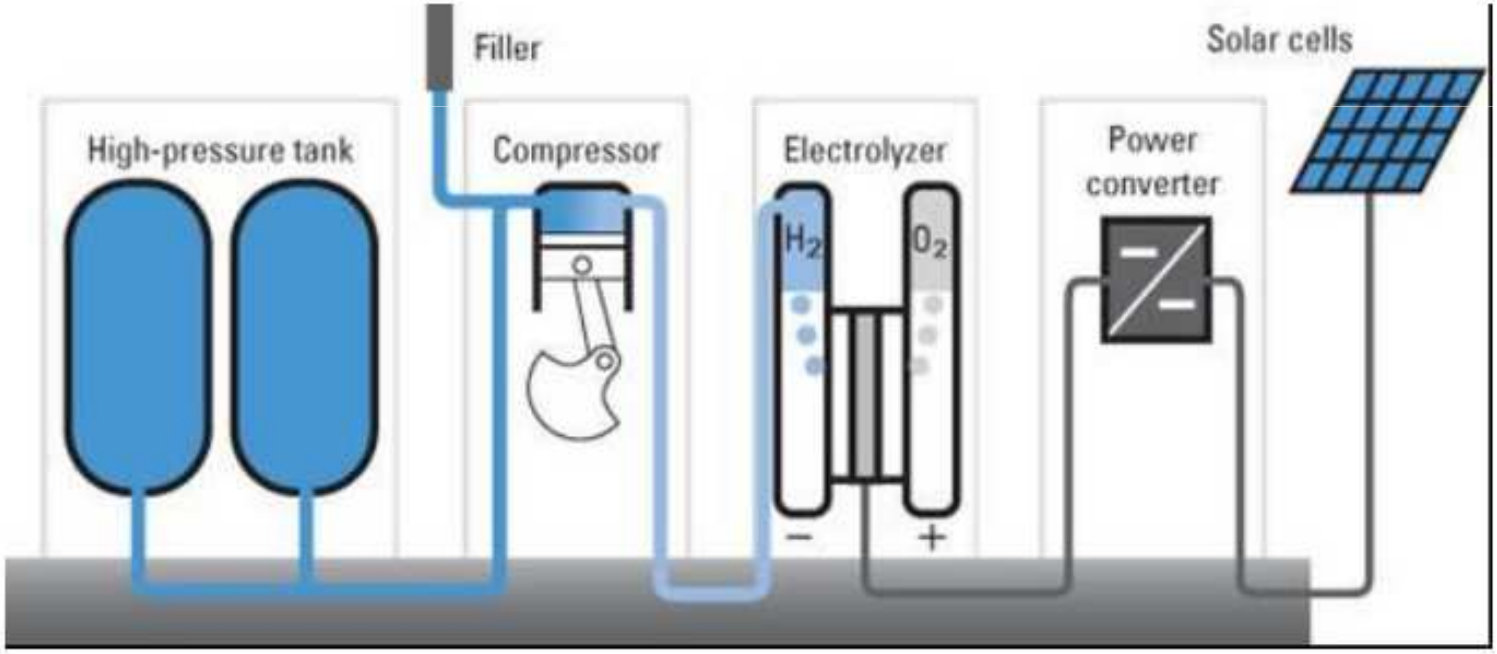


Image Source: www.image.google.com

پرسش و پاسخ