



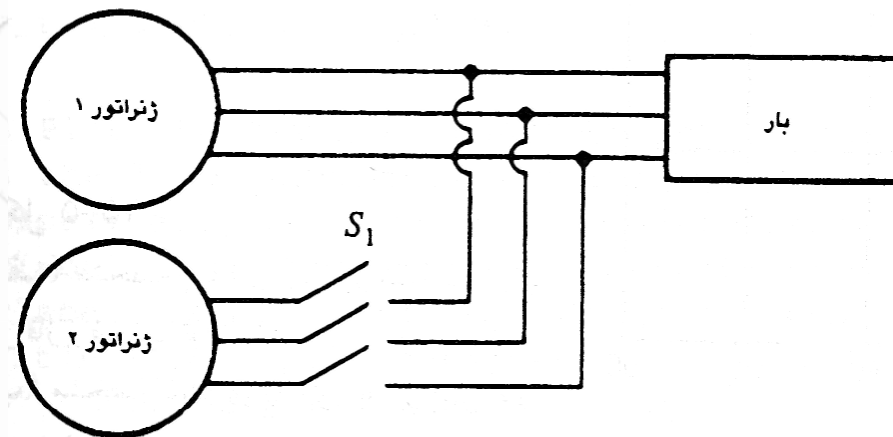
مبحث ششم:

موازی کردن ژنراتورهای سنکرون

- شرایط لازم برای موازی کردن
- منحنی های فرکانس-توان و ولتاژ-توان راکتیو
- موازی کردن یک ژنراتور با شبکه (شین بی نهایت)
- موازی کردن دو ژنراتور با یکدیگر



- ✓ باری که چند ژنراتور می توانند تامین کنند، بیشتر از باری است که یک ژنراتور به تنهایی تامین می کند.
- ✓ بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم (عدم قطع برق بار در صورت خراب شدن یک یا چند واحد)
- ✓ امکان برنامه ریزی برای تعمیرات دوره ای
- ✓ افزایش راندمان (تغذیه بارهای کوچک به وسیله ژنراتورهای کوچک تر به جای استفاده از ژنراتور بزرگ تر)



اتصال یک ژنراتور به یک سیستم قدرت در حال کار

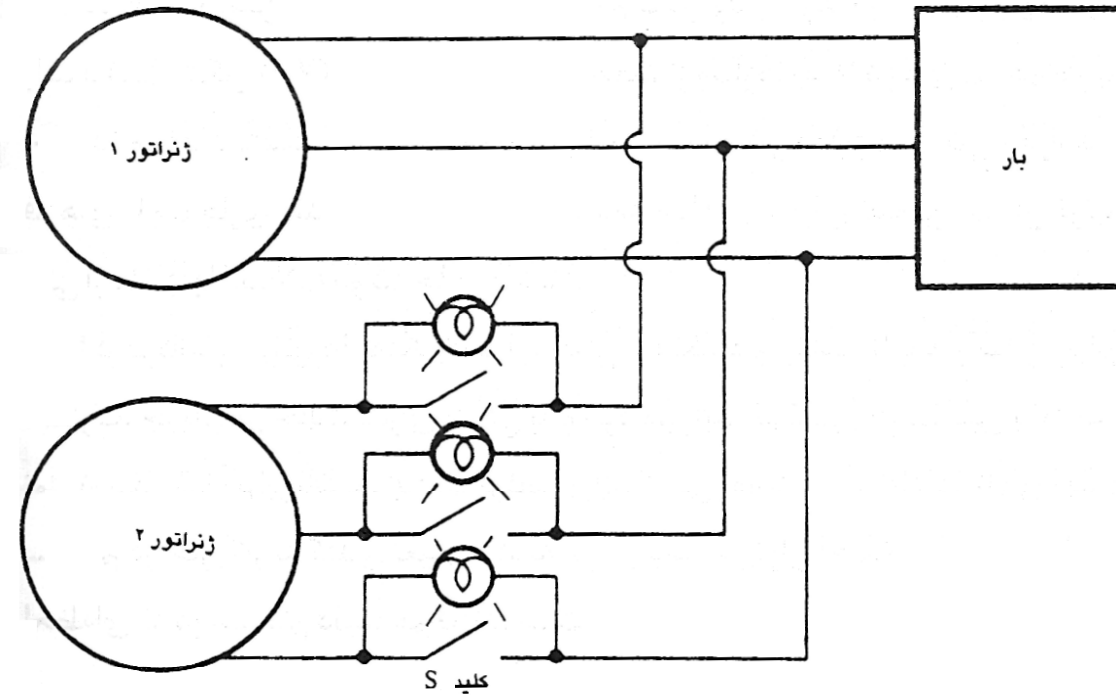


□ شرایط لازم برای موازی کردن

➤ چهار شرط لازم برای موازی کردن ژنراتورها:

ردیف	شرط	ابزار تست برقراری شرط	راه حل در صورت برقرار نبودن شرط
۱	دامنه ولتاژ فازها یکی باشد	استفاده از ولت متر	تنظیم تحریک
۲	توالی فازها یکی باشد	استفاده از یک موتور القائی	جابجائی دو فاز
۳	ولتاژها هم فاز باشند	روش سه لامپ	تغییر فرکانس تا هم فاز شدن بعد تنظیم فرکانس
۴	برابری فرکانس ژنراتورها	فرکانس متر	تنظیم ست پوینت محرک اولیه

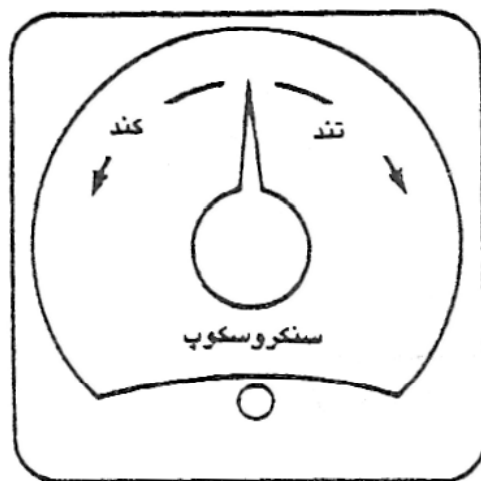




طریقه اتصال لامپ‌ها بین ژنراتور و سیستم قدرت در حال کار

✓ وقتی تمام شرایط لازم برای موازی کردن برقرار باشند و اگر روش سه لامپ را پیاده‌سازی کنیم آنگاه تمام لامپ‌ها خاموش می‌شوند.

- ✓ با استفاده از دستگاه سنکروسکوپ و یا سنکروچک می توان شرایط موازی کردن ژنراتورها را بررسی نمود. سنکروسکوپ سنج‌های است که اختلاف فرکانس و اختلاف زاویه فازهای a دو سیستم را نشان می‌دهد.
- ✓ اگر هیچ اختلاف فازی بین دو سیستم نباشد، عقربه وسط قرار می‌گیرد.
- ✓ سنکروسکوپ تنها یک فاز را کنترل می‌کند و در مورد ترتیب فازها اطلاعی نمی‌دهد.
- ✓ فرکانس ژنراتور جدید باید کمی بیش از فرکانس سیستم در حال کار باشد تا در هنگام اتصال به خط به عنوان ژنراتور کار کند نه اینکه مانند موتور توان مصرف کند.



دستگاه سنکروسکوپ برای چک کردن مهیا بودن برخی شرایط موازی‌سازی

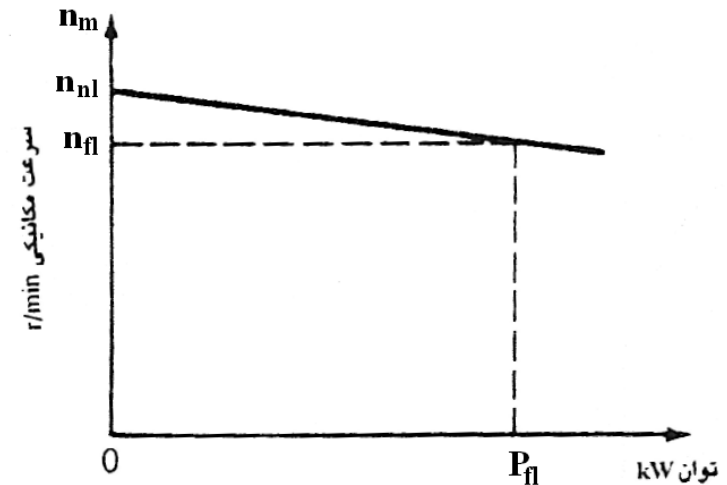
- در تمام گرداننده‌های اولیه ژنراتورها، با افزایش توان کشیده شده از آنها، سرعت چرخش آنها کمتر می‌شود.
- کاهش سرعت اغلب غیرخطی است اما معمولاً از مکانیزم‌های خطی‌سازی در گاورنرها استفاده می‌شود.
- **گاورنر** وسیله‌ای است برای تنظیم توان تولیدی ژنراتور.

$$SD = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \times \%100 \quad (1)$$

$$f_e = \frac{n_m p}{120} \quad (2)$$

افت دور گرداننده‌های اولیه کوچک بوده و معمولاً ۲ تا ۴ درصد است.

f_e = فرکانس برق ژنراتور متصل به گرداننده اولیه
 p = تعداد قطب‌های ژنراتور
 n_m = سرعت مکانیکی گرداننده اولیه



تغییرات توان بر حسب سرعت مکانیکی گرداننده اولیه ژنراتور



■ توان تولیدی یک ژنراتور از منحنی توان- فرکانس آن قابل تعیین است که این منحنی دارای مشخصه زیر است:

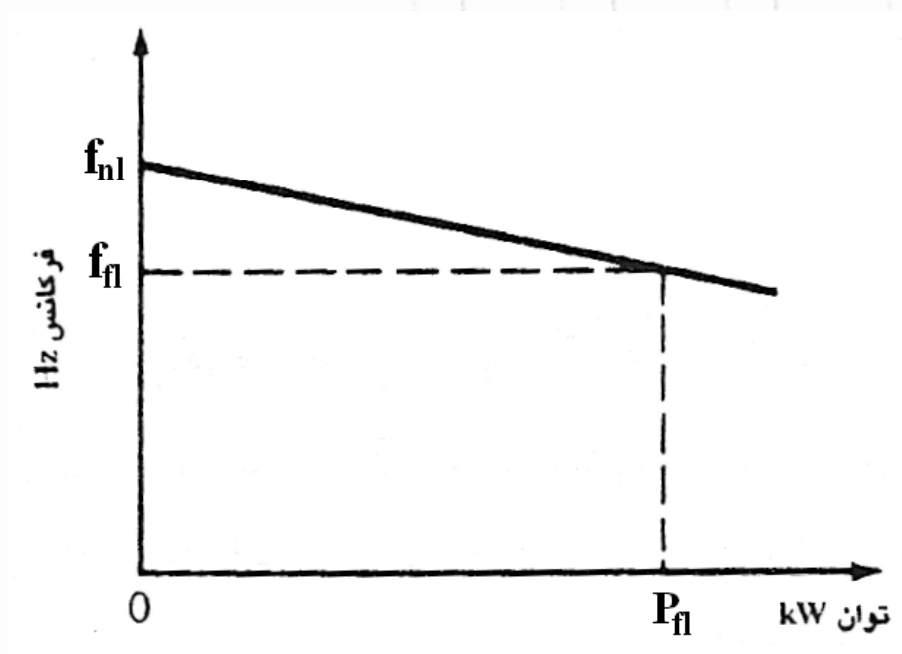
$$P = s_p (f_{nl} - f) \quad (3)$$

s_p = شیب مشخصه بر حسب کیلووات یا مگاوات بر هرتز

P = توان تولید شده توسط ژنراتور

f_{nl} = فرکانس بی‌باری خروجی ژنراتور

f = فرکانس برق سیستم متصل به ژنراتور



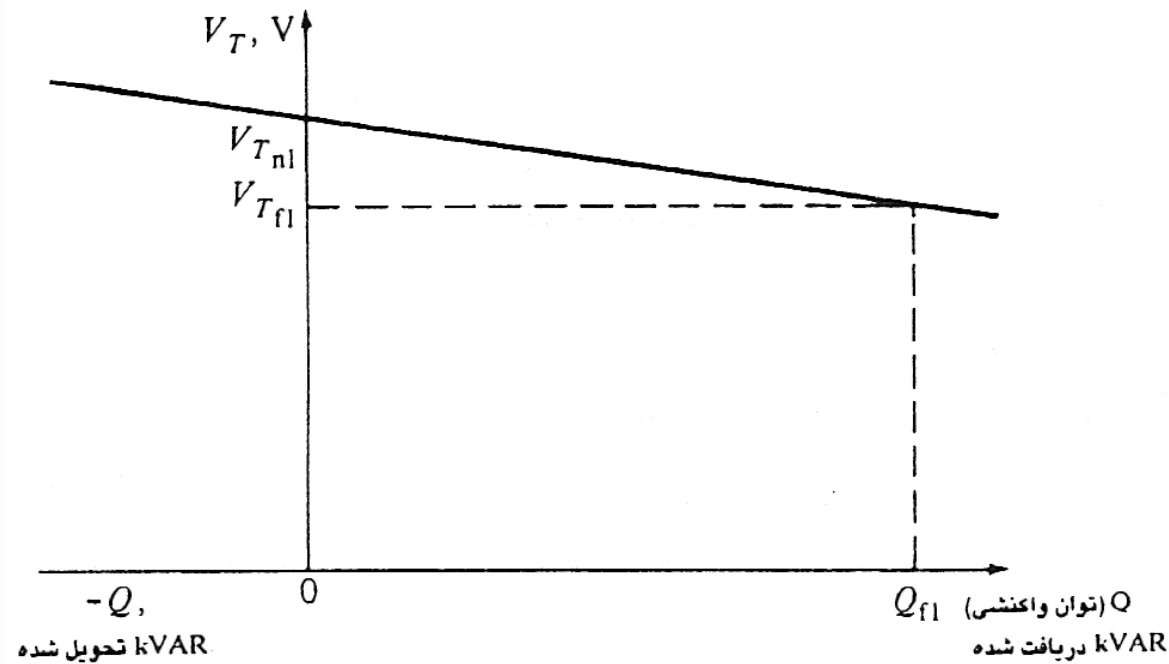
تغییرات توان بر حسب سرعت مکانیکی گرداننده اولیه ژنراتور



□ منحنی‌های فرکانس-توان و ولتاژ-توان راکتیو

➤ منحنی ولتاژ-توان راکتیو:

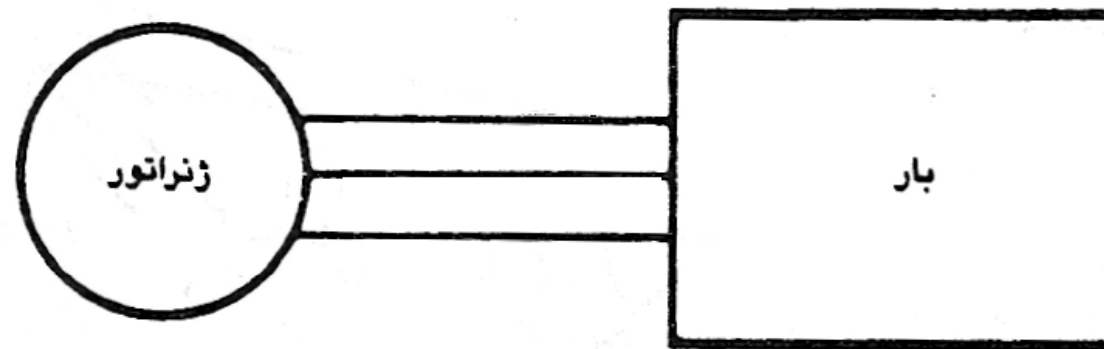
- منحنی ولتاژ ترمینال بر حسب توان راکتیو نقش مهمی را در کار موازی ژنراتورهای سنکرون ایفا می‌کند.
- این منحنی لزوماً خطی نیست اما در بسیاری از تنظیم‌کننده‌های ولتاژ، تمهیداتی در نظر گرفته شده است تا خطی شود.



تغییرات ولتاژ ترمینال بر حسب توان راکتیو خروجی ژنراتور

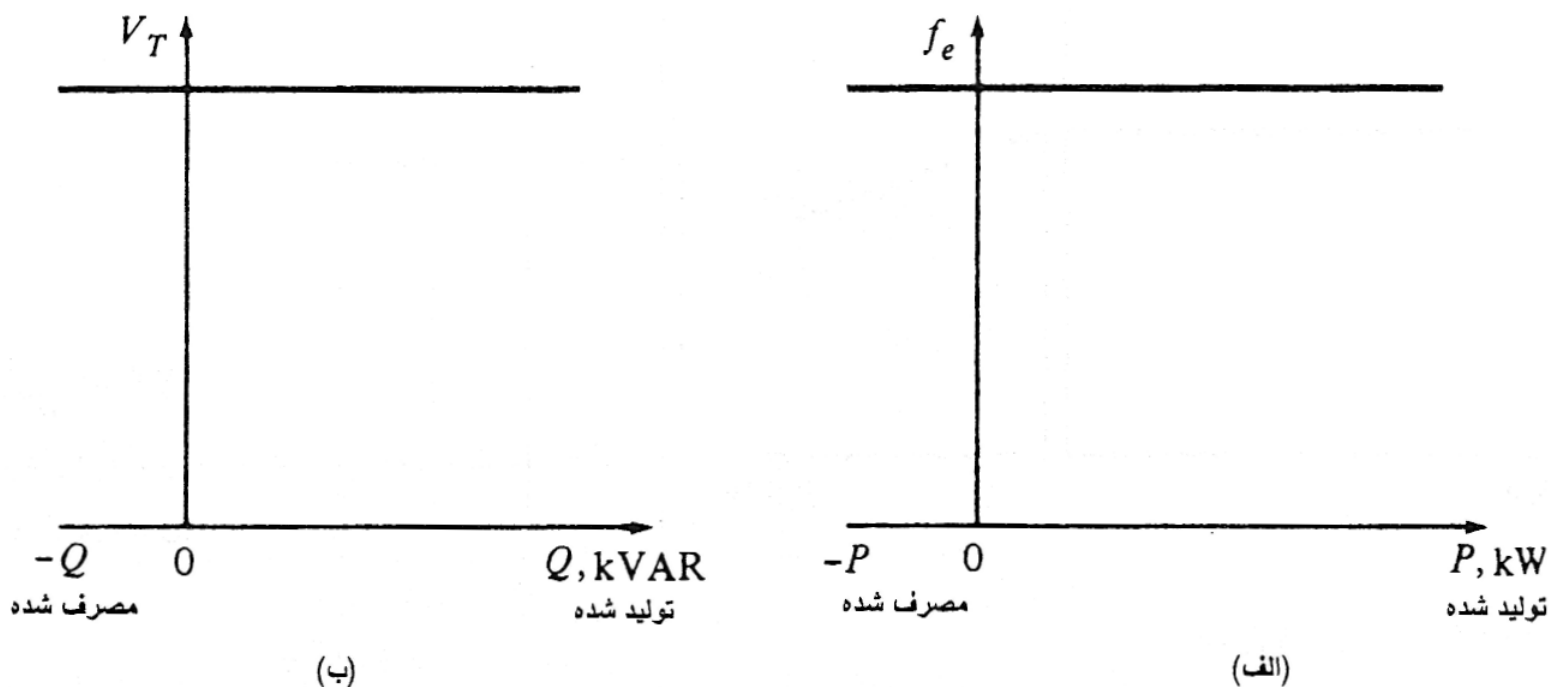


- توان‌های اکتیو و راکتیو تامین شده توسط ژنراتور همان مقداری است که بار متصل به آن طلب می‌کند.
- نقاط تنظیم گاورنر ژنراتور، فرکانس کار سیستم را تعیین می‌کنند.
- جریان میدان، ولتاژ ترمینال سیستم قدرت را تعیین می‌کند.
- بارهای پس‌فاز، ولتاژ ترمینال ژنراتور V_t را به شدت کاهش می‌دهند.
- بارهای هم‌فاز (با ضریب توان واحد)، V_t را اندکی کاهش می‌دهند.
- بارهای پیش‌فاز، ولتاژ V_t را افزایش خواهند داد.



تغذیه بار توسط یک ژنراتور تنها

- **شین بی نهایت:** سیستم قدرت بسیار بزرگی است که هر قدر توان اکتیو یا راکتیو به آن داده شود و یا از آن گرفته شود، ولتاژ و فرکانس آن تغییر نمی کند.



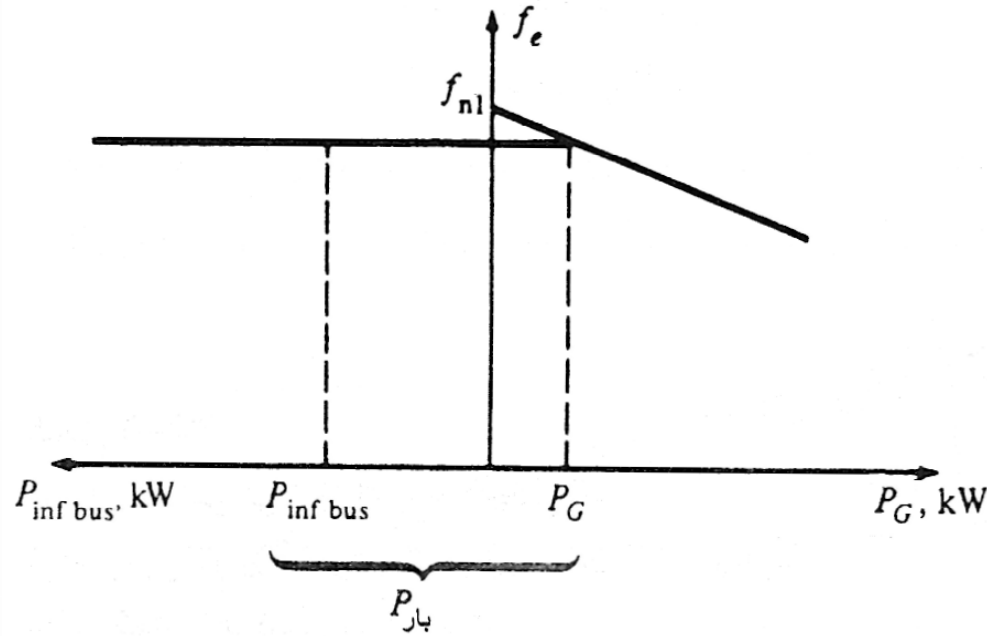
منحنی های (الف) فرکانس - توان اکتیو و (ب) ولتاژ - توان راکتیو برای یک شین بی نهایت



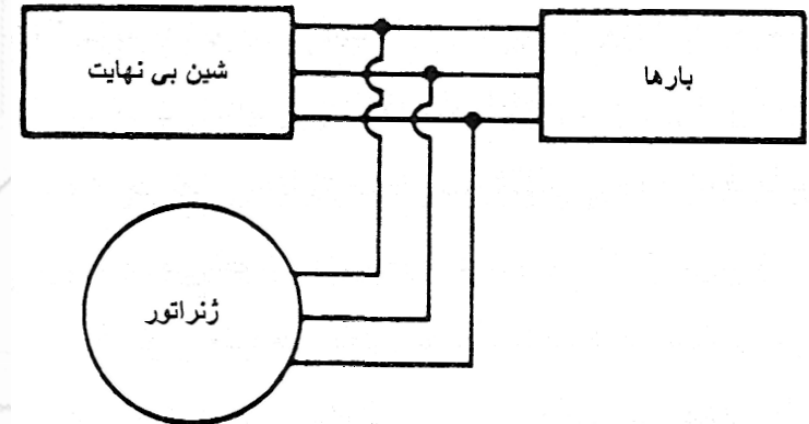
موازی کردن یک ژنراتور با شبکه (شین بی نهایت)

۱- حالت کارکرد ژنراتوری:

میزان توان تحویل داده شده یک ژنراتور به شبکه را می توان از روی منحنی فرکانس-توان ژنراتور بدست آورد.



کارکرد ژنراتوری یک ژنراتور سنکرون متصل به شبکه



یک ژنراتور متصل به شین بی نهایت

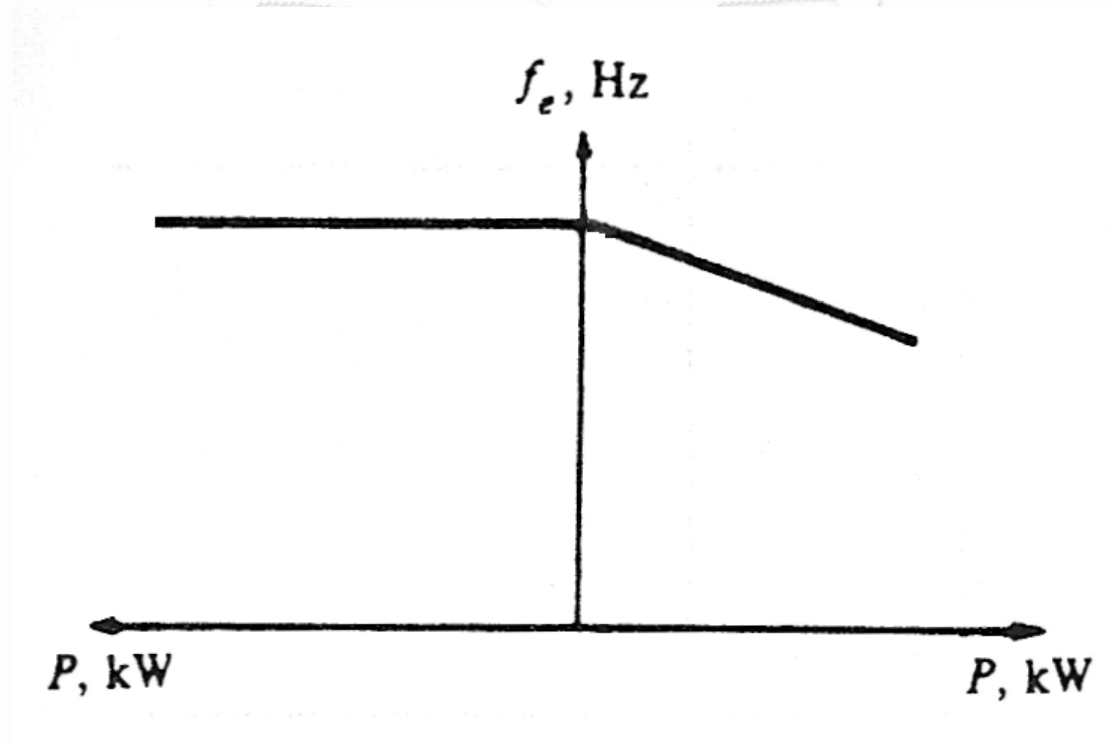




□ موازی کردن یک ژنراتور با شبکه (شین بی نهایت)

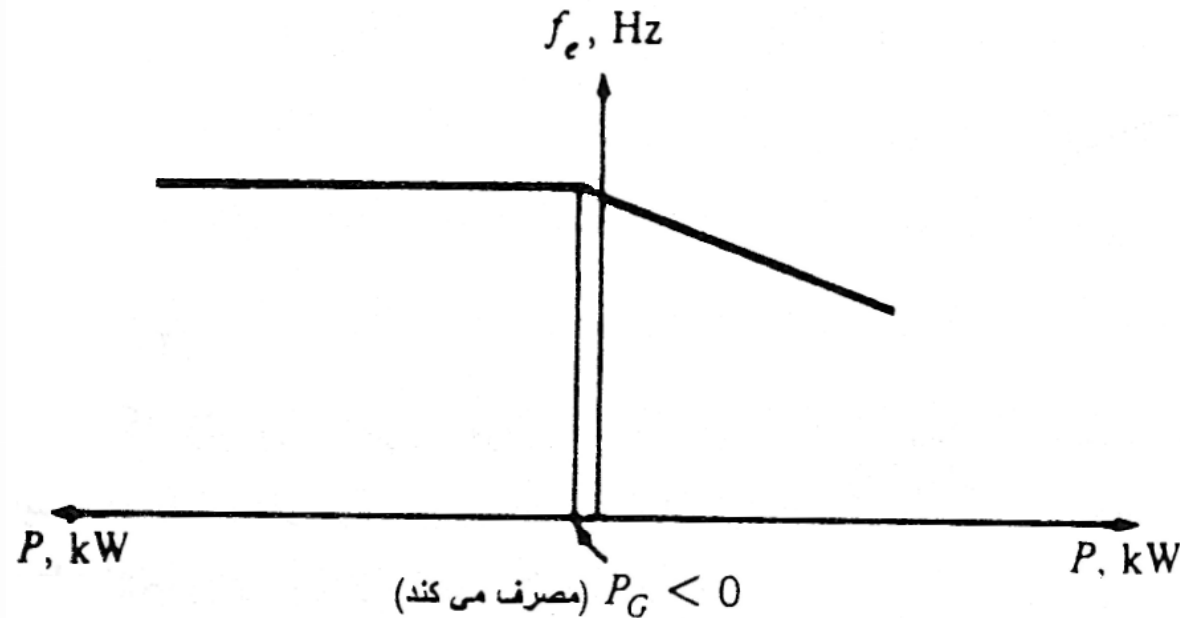
➤ ۲- حالت کارکرد شناور:

- اگر در زمانی که ژنراتور می‌خواهد به شبکه وصل شود، فرکانس آن خیلی نزدیک به فرکانس کار شبکه باشد، حالت کارکرد شناوری پیش می‌آید.



حالت شناور اتصال ژنراتور به شبکه

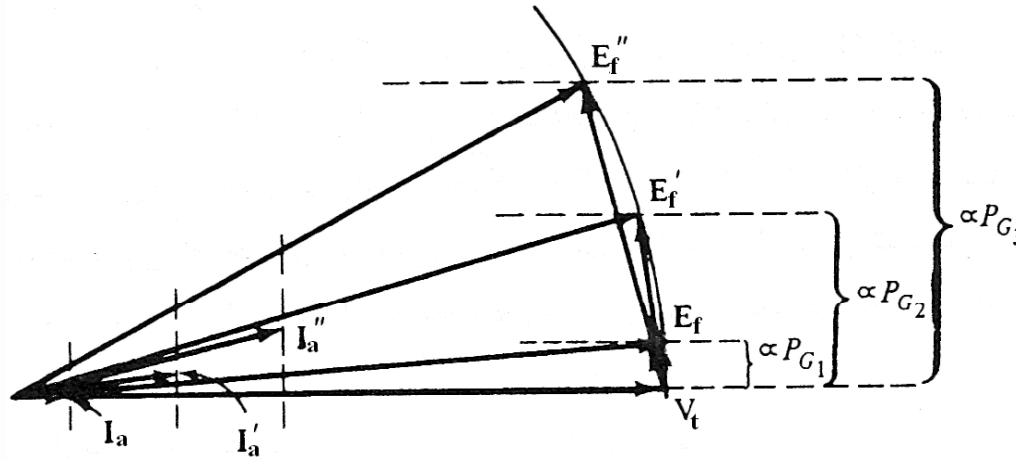
- اگر در زمانی که ژنراتور می خواهد به شبکه وصل شود، فرکانس آن کمتر از فرکانس کار شبکه باشد، ژنراتور بصورت موتور کار کرده و توان اکتیو از شبکه دریافت می کند.
- در حالت عملی، رله های برگشت توان مانع کارکرد موتوری یک ژنراتور متصل به شبکه شده و آنرا بصورت خودکار از شبکه قطع خواهند کرد.



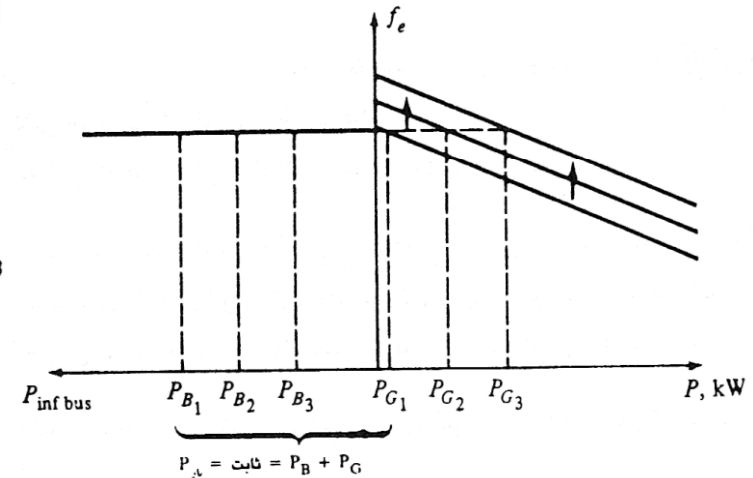
حالت کارکرد موتوری یک ژنراتور متصل به شبکه

■ سؤال: اثر افزایش نقاط تنظیم گاورنر چیست؟

- ✓ با افزایش تنظیم گاورنر، فرکانس بی باری ژنراتور افزایش می یابد و توان تحویل شده از ژنراتور به شبکه افزایش می یابد.
- ✓ توان اضافی تحویل داده شده به شین بی نهایت بدون تغییر در مقدار فرکانس شبکه مصرف می شود.
- ✓ در صورتیکه تحریک ثابت بماند، افزایش P سبب کاهش Q تولیدی ژنراتور می شود.



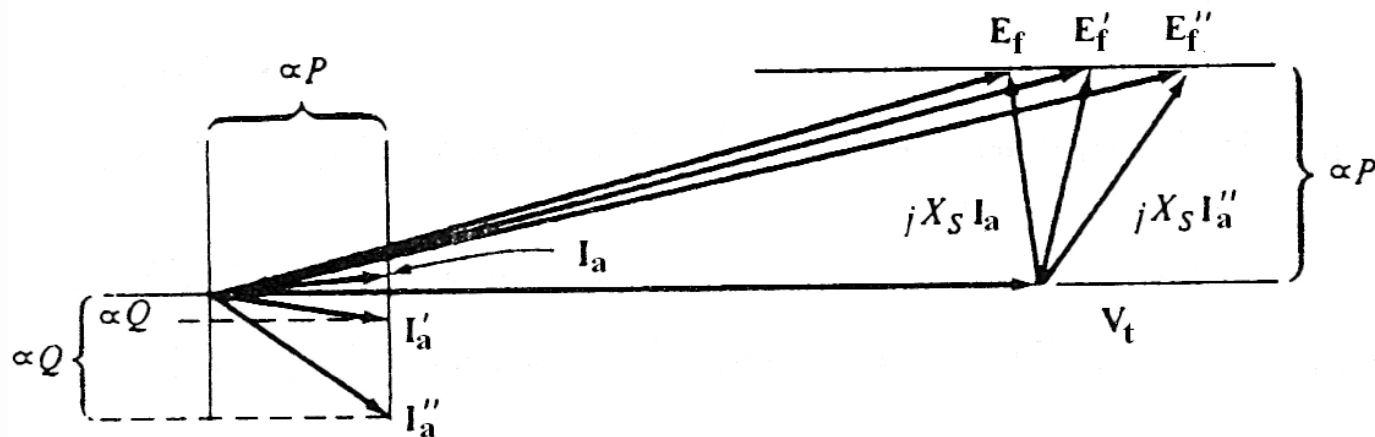
(ب) اثر افزایش نقاط تنظیم گاورنر بر دیاگرام برداری



(الف) اثر افزایش نقاط تنظیم گاورنر بر دیاگرام توان-فرکانس

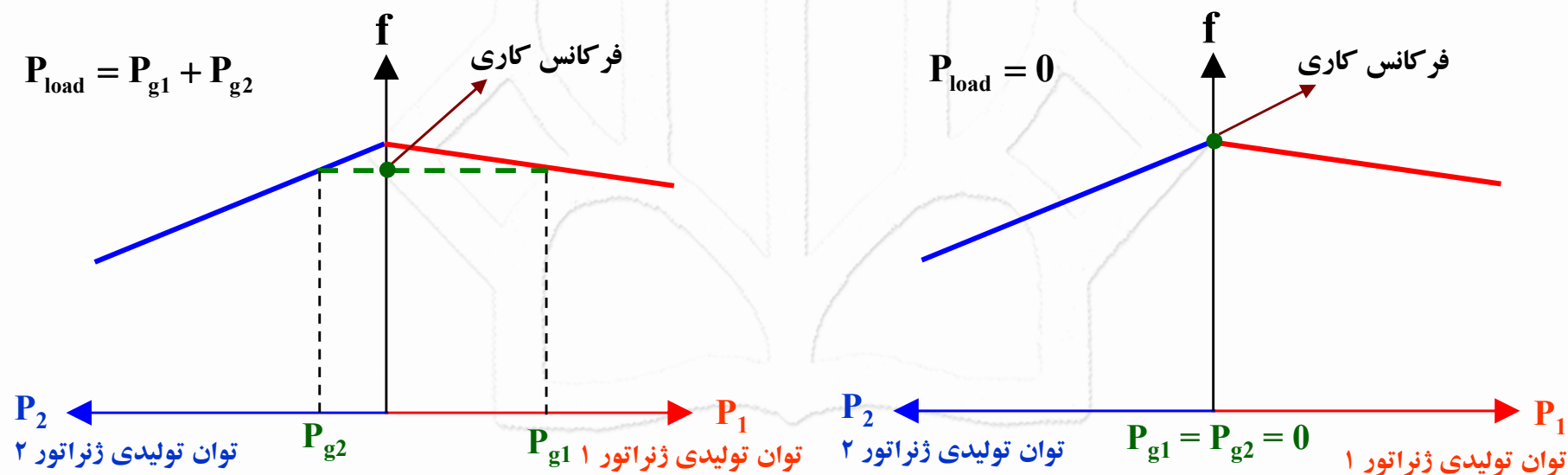
■ سؤال: اثر افزایش جریان تحریک چیست؟

- با افزایش جریان تحریک، E_f زیاد می شود، اما به دلیل ثابت بودن خروجی ژنراتور (ناشی از ثابت بودن تنظیم گاورنر)، مقدار $E_f \sin \delta$ ثابت باقی مانده و در نتیجه E_f در امتداد یک خط توان ثابت حرکت می کند.
- از طرفی چون V_t ثابت است، بردار $jX_s I_a$ جابجا شده و در نتیجه اندازه جریان خروجی ژنراتور زیاد می شود.
- در نتیجه با افزایش تحریک ژنراتور، توان راکتیو بیشتر به شبکه تحویل داده می شود.



اثر افزایش جریان تحریک بر دیاگرام برداری یک ژنراتور سنکرون متصل به شین بی نهایت

- دو ژنراتور که با هم موازی می شوند، در صورتیکه تمام پارامترهای آنها (دامنه و توالی ولتاژها، فرکانس و زاویه آنها) مثل هم باشند، هیچ توانی بین آنها رد و بدل نمی شود. حال اگر باری به ترمینال مشترک آنها وصل شود، چگونه بین آن دو تقسیم می شود؟
- این امر به مشخصه فرکانس - توان آنها بستگی دارد.

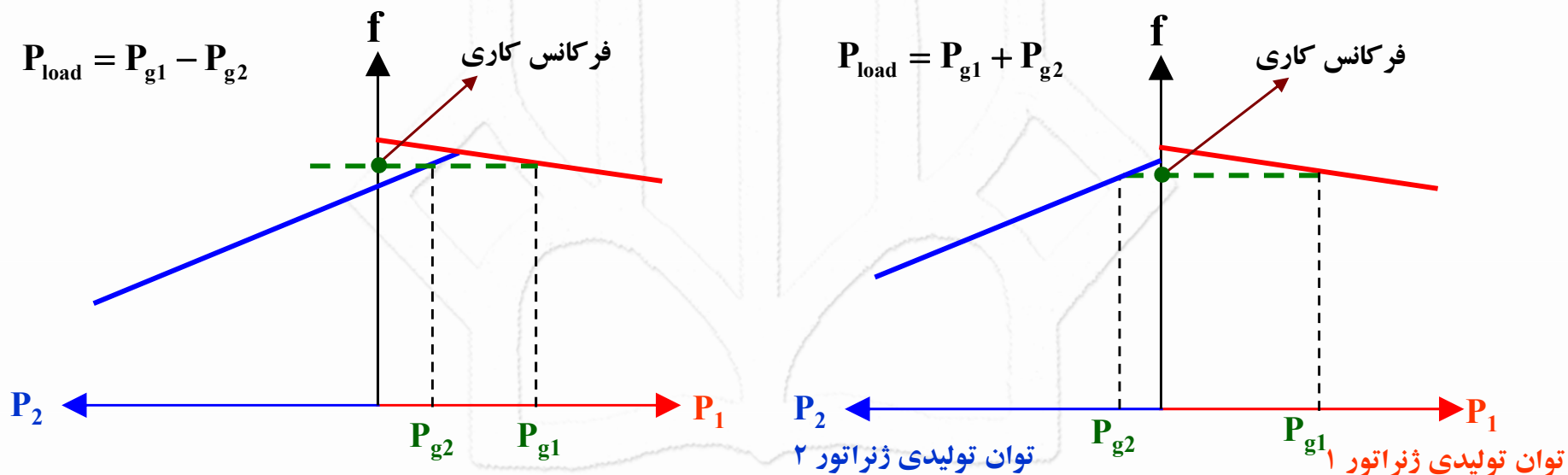


(ب) اتصال دو ژنراتور با شرایط و با تنظیم گاورنر (Set point) یکسان به یک بار مشترک

(الف) اتصال دو ژنراتور بدون بار و شرایط یکسان و با تنظیم گاورنر (Set point) یکسان

می توان میزان تولید ژنراتورها را با (Set Point) تنظیم گاورنرها تغییر داد.

اگر Set point ها به طور مناسب تنظیم نشوند، ممکن است حالتی رخ بدهد که یکی از ژنراتورها به شکل بار برای دیگری عمل کند.



(د) اتصال دو ژنراتور با شرایط یکسان به یک بار مشترک و با Set point های مختلف و نامناسب

(ج) اتصال دو ژنراتور با شرایط یکسان به یک بار مشترک و با Set point های مختلف اما مناسب

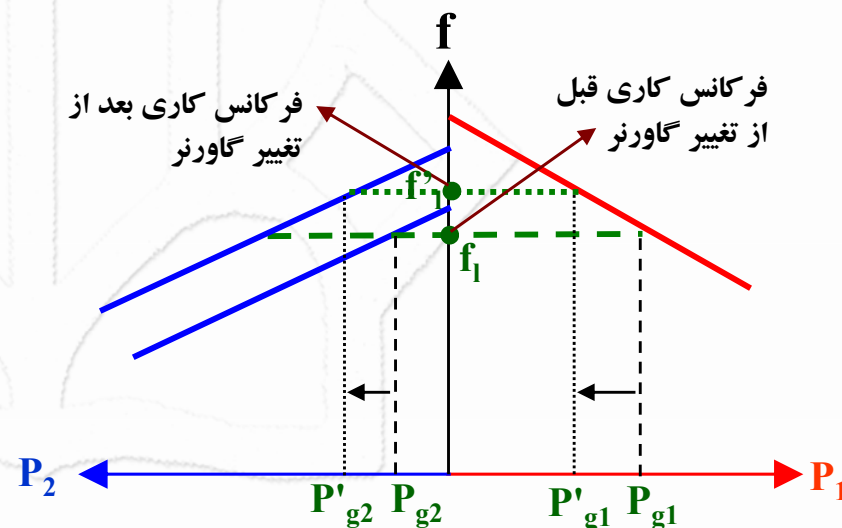
سؤال ۱: اگر Set point گاورنر یکی از ژنراتورها (مثلا ژنراتور ۲) را افزایش دهیم چه اتفاقی می افتد؟

۱- فرکانس سیستم زیاد می شود.

۲- توان تحویل داده شده به وسیله آن ژنراتور زیاد شده و توان خروجی دیگری را کاهش می دهد.

$$P_{load} = P_{g1} + P_{g2} = P'_{g1} + P'_{g2} \quad (۴)$$

$$f' > f \quad (۵)$$



اثر افزایش Set point ژنراتور ۲ بر فرکانس و توان ژنراتورها

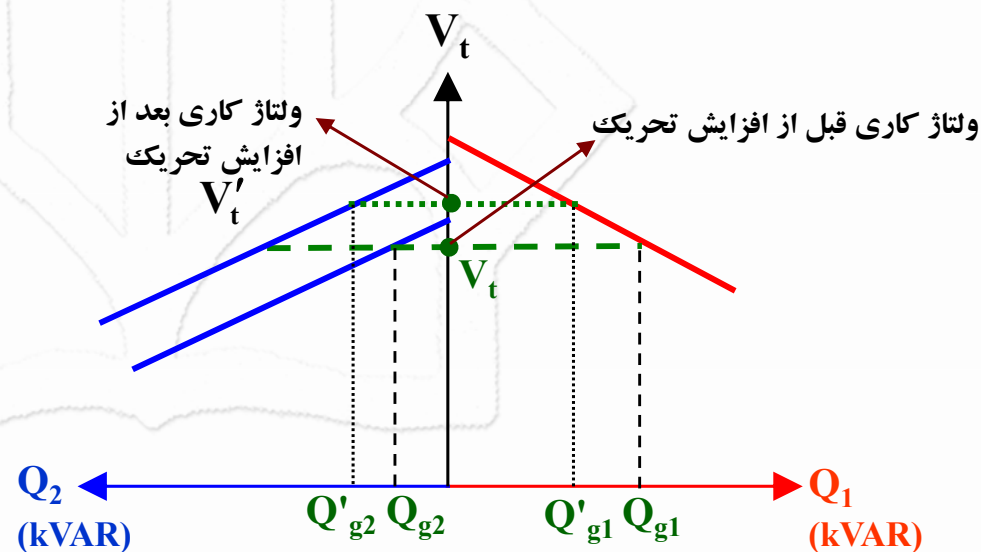
سؤال ۲: اگر جریان میدان یکی از ژنراتورها (مثلاً ژنراتور ۲) را افزایش دهیم چه اتفاقی می افتد؟

۱- ولتاژ ترمینال سیستم زیاد می شود.

۲- توان راکتیو تحویل داده شده به وسیله آن ژنراتور زیاد شده و توان راکتیو دیگری را کاهش می دهد.

$$Q_{\text{load}} = Q_{g1} + Q_{g2} = Q'_{g1} + Q'_{g2} \quad (۶)$$

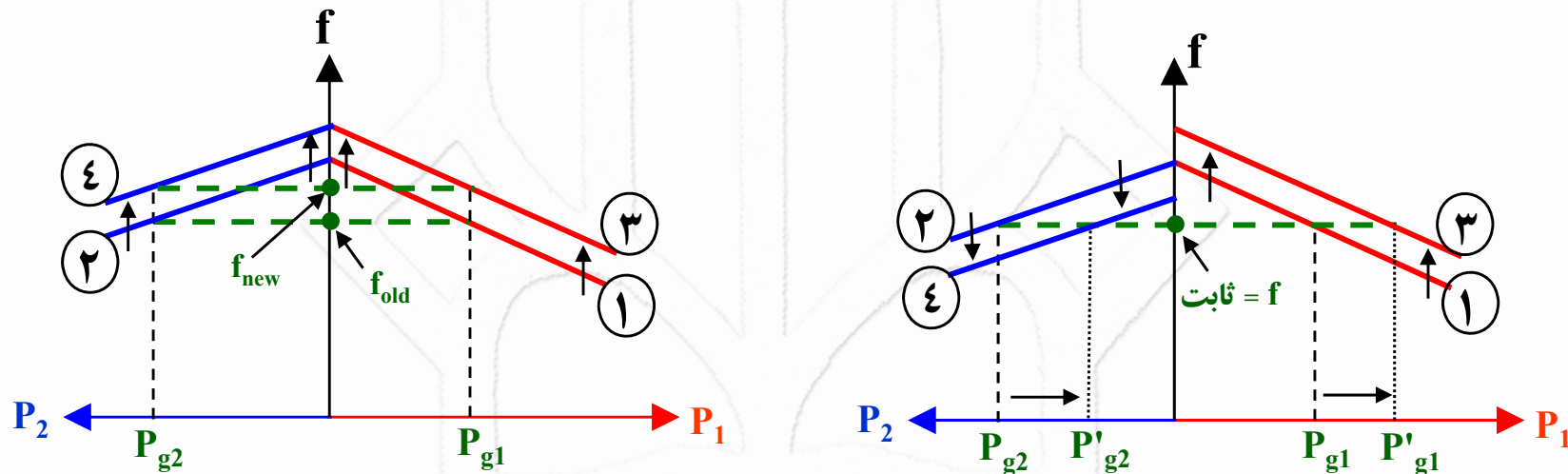
$$V'_t > V_t \quad (۷)$$



اثر افزایش جریان تحریک ژنراتور ۲ بر سیستم قدرت

سؤال: ۳- چگونه می توان برای تنظیم تقسیم توان بدون تغییر فرکانس، نقاط تنظیم گاورنر ژنراتورها را تغییر داد؟

سؤال: ۴- چگونه می توان برای تغییر فرکانس سیستم، بدون تغییر تقسیم توان، نقاط تنظیم گاورنر ژنراتورها را تنظیم نمود؟

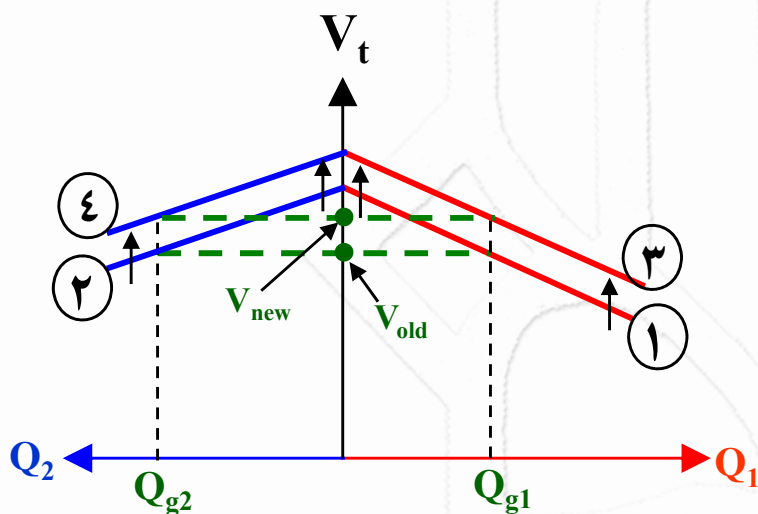


(ب) افزایش فرکانس سیستم بدون تغییر تقسیم توان، با افزایش همزمان گاورنر هر دو ژنراتور

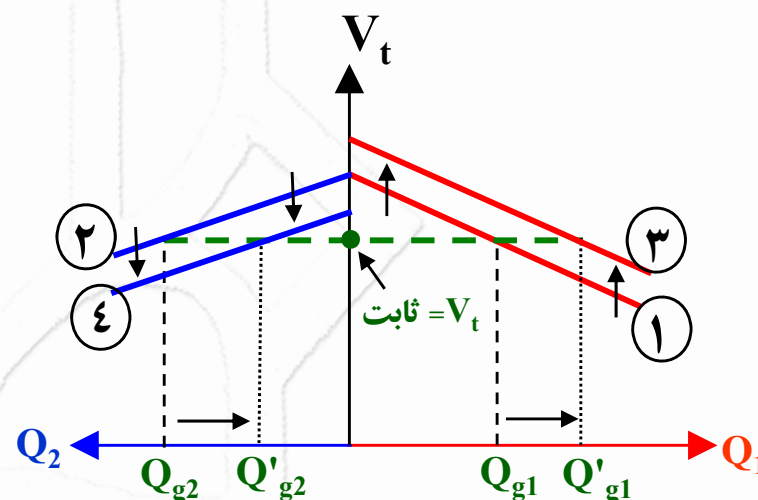
(الف) تنظیم تقسیم توان بین دو ژنراتور بدون تغییر فرکانس، با افزایش گاورنر یکی و کاهش همزمان گاورنر دیگری

سؤال: ۵- چگونه می توان برای تنظیم تقسیم توان راکتیو بدون تغییر ولتاژ سیستم، جریان های تحریک ژنراتورها را تغییر داد؟

سؤال: ۶- چگونه می توان برای تغییر ولتاژ سیستم، بدون تغییر تقسیم توان راکتیو، جریان های تحریک ژنراتورها را تنظیم نمود؟

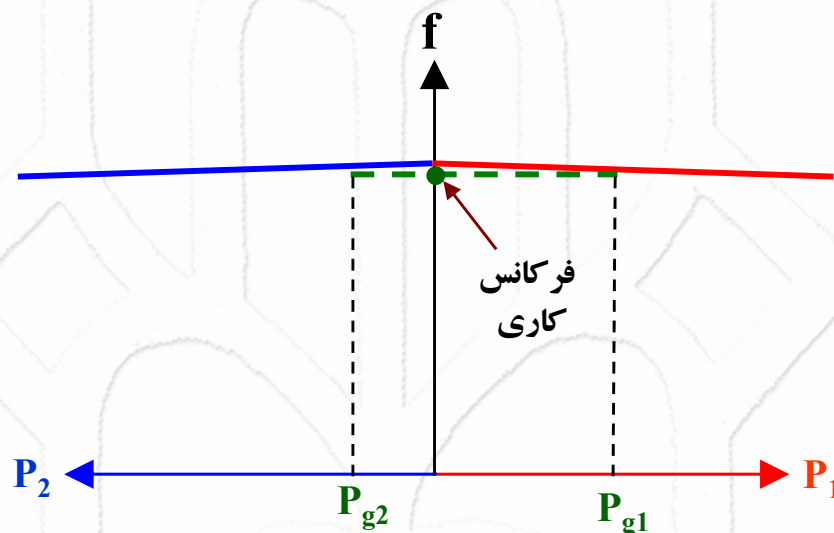


(ب) افزایش ولتاژ سیستم بدون تغییر تقسیم توان راکتیو، با افزایش همزمان جریان تحریک هر دو ژنراتور



(الف) تنظیم تقسیم توان راکتیو بین دو ژنراتور بدون تغییر ولتاژ سیستم، با افزایش جریان تحریک یکی و کاهش همزمان جریان تحریک دیگری

- اگر بخواهیم ژنراتور سنکرونی را با ماشین‌های دیگر موازی کنیم، مشخصه فرکانس – توان آن باید کاهش باشد.
- برای تقسیم مناسب توان بین ژنراتورها، هر ژنراتور باید افت سرعتی در محدوده ۲ تا ۵ درصد داشته باشد.



دو ژنراتور سنکرون که مشخصه تختی داشته، و کوچکترین تغییری در فرکانس بی‌باری هر یک، می‌تواند جابجایی عظیمی در تقسیم توان را سبب شود.