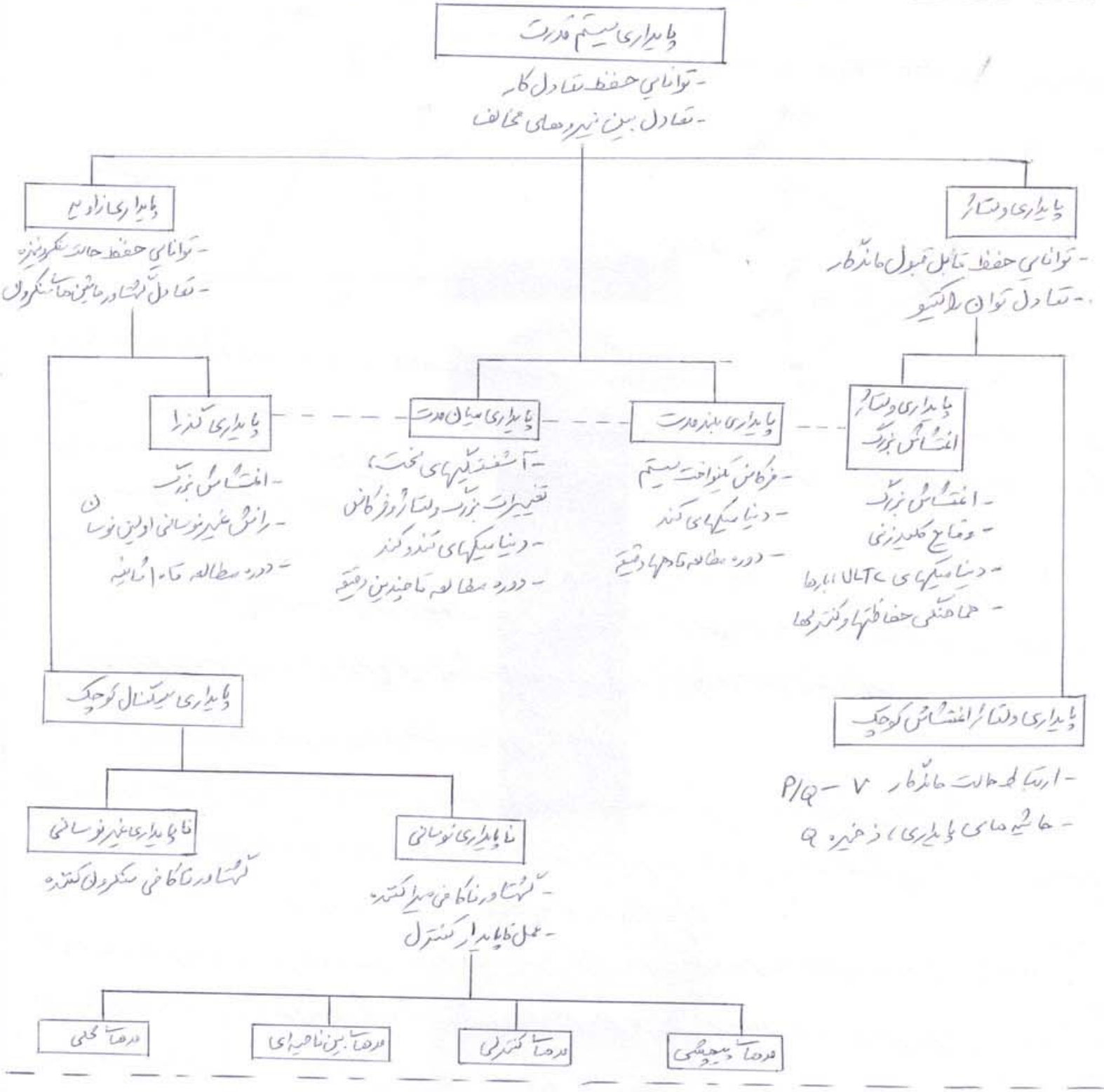
بسمه تعالی

فصل دوم: مقدمه ای بر مسأله پایداری سیستمهای قدرت

ارائه دهنده: تقی ابراهیمی استاد: جناب آقای دکتر رضوی



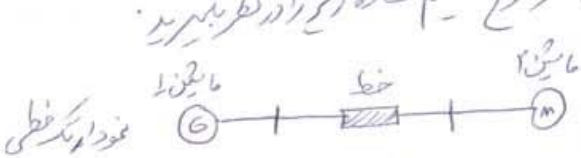
* مفاهیم اولیه و تعاریف:

در این فصل هدف این است که دیدگاهی کلی از پدیده پایداری سیستم قدرت عرضه شود. پایداری سیستم قدرت را می توان بطور کلی آن ویژگی از سیستم قدرت دانست که آن را قادر می سازد تا تحت وضع عادی در حالت تعادل باقی بماند و در صورتی که تحت تأثیر اغتشاشی قرار گیرد، مجدداً حالت قابل قبول متعادلی را بدست آورد. مسأله پایداری سیستم قدرت بطور عمده، حفظ حالت سنکرونیزه بین ماشینهای سنکرون بهم پیوسته است.

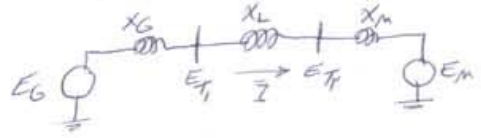
* پایداری نادرستی از روتور:

پایداری نادرستی توانایی ماشینهای سنکرون بهم پیوسته در یک سیستم قدرت است که در حالت سنکرون با یکدیگر باقی بماند.

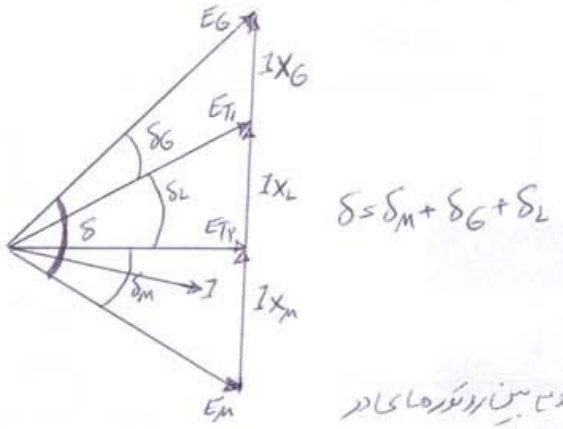
مشخصه مهمی که در حفظ پایداری سیستم قدرت اهمیت دارد رابطه بین توان مبادله شده و موقعیت نوسانی آرمیچر ماشینهای سنکرون است. این رابطه به شکل غیرخطی است. برای نشان دادن موضوع سیستم ساده زیر را در نظر بگیرید.



نمودار یک خطی

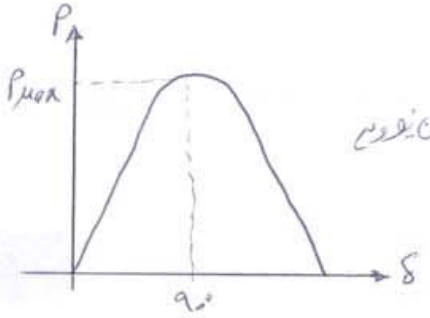


مدل ایده آل



نمودار فازوری

$\delta = \delta_M + \delta_G + \delta_L$



منحنی توان نوسانی

توان انتقال یافته از ژنراتور به موتور تابعی از δ است که اختلاف زاویه بین روتورهای دو ماشین را نشان می دهد. زاویه δ سه مولفه دارد: ① δ_G زاویه داخلی ژنراتور که زاویه‌ای است که روتور ژنراتور نسبت به میدان حاصل از استاتور جلوتر است ② δ_L که اختلاف زاویه بین ولتاژهای پایانه موتور و ژنراتور است و ③ δ_M که زاویه داخلی موتور است که زاویه‌ای است که روتور موتور نسبت به میدان حاصل از استاتور عقب‌تر است.

توان انتقالی از ژنراتور به موتور برابر است با:

$$P = \frac{E_G E_M}{X_T} \sin\delta \qquad X_T = X_G + X_M + X_L$$

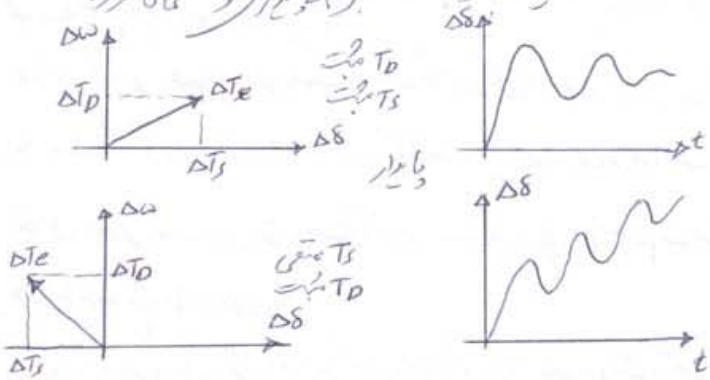
زمانی که زاویه صفر است هیچ توانی مبادله نمی شود هر چه زاویه افزایش داده شود توان نیز افزایش می یابد تا به حداکثر خود برسد. اگر زاویه از ۹۰° بیشتر شود توان کاهش می یابد. این موضوع سبب می شود که اختلاف زاویه باز هم بیشتر شود و منجر به ناپایداری گردد.

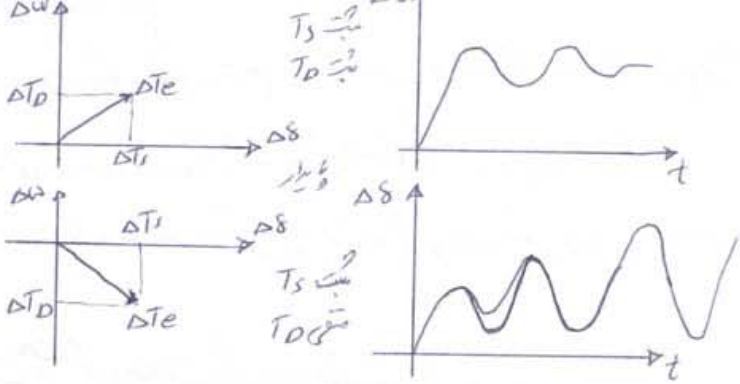
* پدیده پایداری زاویه روتور را می توان به دو طبقه بندی ذیل تقسیم کرد:

الف) پایداری افتشاش کوچک یا سیگنال کوچک: توانایی سیستم را برای حفظ حالت سنکرونیزه در اثر افتشاشهای کوچک نشان می دهد این افتشاشها به علت تغییرات کوچک بار و تولید، دائماً اتفاق می افتد. در سیستمهای قدرت می توان با بروز افتشاش، تغییرات گشتاور الکتریکی یک ماشین سنکرون را در مولفه تجزیه کرد:

$$\Delta T_e = T_S \Delta\delta + T_D \Delta\omega$$

که $T_S \Delta\delta$ با تغییرات زاویه روتور $\Delta\delta$ هم‌فاز است و از آن بنام مولفه گشتاور سنکرون کننده یاد می شود. $T_D \Delta\omega$ که با تغییرات سرعت هم‌فاز است و از آن بنام مولفه گشتاور میراکننده یاد می شود. کمبود گشتاور سنکرون کننده منجر به افزایش دامنی زاویه روتور و در نتیجه منجر به ناپایداری از طریق رانش غیرنوسانی زاویه روتور می شود. کمبود گشتاور میراکننده هم منجر به نوسانهای روتور با دامنه در حال افزایش و نتیجتاً منجر به ناپایداری نوسانی می شود.



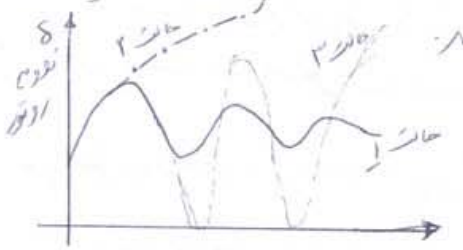


در سیستمهای قدرت امروزی پایداری اغتشاش کوچک، عمدتاً به علت کمبود میرایی نوسانها اتفاق می افتد.

انواع نوسانها: الف) مدهای محلی یا مدهای ماشین: سیستم کم مربوط به نوسانهای واحدهای یک نیروگاه نسبت به بقیه سیستم قدرت آب
ب) مدهای بین ناحیه‌ای: که مربوط به نوسانهای تعدادی ماشین متکرون در یک بخش سیستم نسبت به ماشینهای متکرون سایر بخشهاست.
ج) مدهای کنترلی: که مربوط به کنترکنترهای نیروگاه و سایر کنترکنترهای حالت معمولاً در اثر تنظیم بد کنورهای HVDC، SVC — اتفاق می افتد
د) مدهای پیچشی: که مربوط به اجزای چرخان روی محور توربین - ژنراتور است. ناپایداری این مدها ممکن است به علت تاثیر متقابل اجزای مذکور با سیستم تحریک، گاورنر، کنترکنترهای HVDC اتفاق افتد.

ب) پایداری گذرا:

توانایی سیستم را به منظور حفظ حالت سنکرونیزم در اثر بروز یک اغتشاش شدید گذرا نشان می دهد. پایداری گذرا هم به نقطه کار اولیه سیستم و هم به شدت اغتشاش بستگی دارد. معمولاً در این حالت، سیستم دستخوش تغییرهای بزرگی می شود که به گونه‌ای که نقطه کار حالت ماندگار سیستم بعد از اغتشاش با نقطه کار قبل از اغتشاش متفاوت است. با وجود این سیستم به گونه‌ای طراحی می شود که در مقابل مجموعه‌ای از پیشامدها مانند اتصال کوتاه خارج زمین، خارج خازن در زمین و سه فاز یا دار بماند. در مطالعات پایداری گذرا زمان مطالعه محدود به ۳ تا ۵ ثانیه بعد از اغتشاش می شود هر چند که ممکن است برای سیستمهای بسیار بزرگ با مدهای نوسانی بین ناحیه‌ای غالب، این زمان به ۱۰ ثانیه هم برسد.

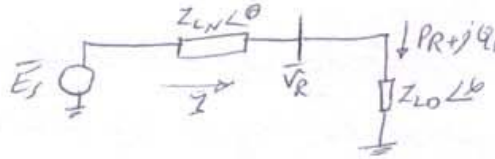


شکل مقابل رفتار ماشینی سنکرون را در وضعیتهای پایدار و ناپایدار نشان می دهد.
که در آن حالت ۱ حالت پایدار و حالتهای ۲ و ۳ ناپایدار هستند.

* پایداری ولتاژ و فروپاشی ولتاژ:

پایداری ولتاژ عبارتست از توانایی سیستم قدرت برای حفظ ولتاژهای ماندگار قابل قبول در تمام شینهای سیستم در شرایط عادی عملکرد و بعد از اینکه تحت یک اغتشاش قرار گرفت. دلیل اصلی ناپایداری، عدم توانایی سیستم قدرت در تأمین توان راکتیو مورد تقاضاست. قلب مسأله معمولاً افت ولتاژی است که به هنگام عبور توان حقیقی و راکتیو از راکتانسهای خطوط انتقال ایجاد می گردد.
اساساً ناپایداری ولتاژ یک پدیده محلی است ولی فروپاشی پدیده‌ای پیچیده که از ناپایداری ساده ولتاژ است و معمولاً اثر دنباله‌ای از حوادث ناپایداری ولتاژ است که منجر به وقایعی در بخش عمده‌ای از سیستم قدرت می شود. ناپایداری ولتاژ را می توان با توجه به شکل زیر نشان داد:

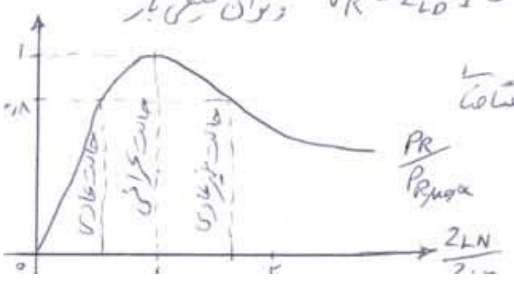
یک سیستم تغذیه ساده برای نمایش پدیده پایداری ولتاژ



$$\bar{I}=\frac{\bar{E}_S}{\bar{Z}_{LN}+\bar{Z}_{LD}}=\frac{E_S}{\sqrt{(Z_{LN}\cos\theta+Z_{LD}\cos\varphi)^2+(Z_{LN}\sin\theta+Z_{LD}\sin\varphi)^2}}\Rightarrow I=\frac{1}{\sqrt{F}}\frac{E_S}{Z_{LN}}$$

که در آن $F=1+\left[\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}}\right]^2+2\left[\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}}\right]\cos(\theta-\varphi)$

دامنه ولتاژ گیرنده $V_R=Z_{LD}I=\frac{1}{\sqrt{F}}\frac{Z_{LD}}{Z_{LN}}E_S$ و توان حقیقی بار $P_R=V_R I\cos\varphi=\frac{Z_{LD}}{F}\left[\frac{E_S}{Z_{LN}}\right]^2\cos\varphi$



توان تحویلی گیرنده بصورت تابعی از تقاضای بار.

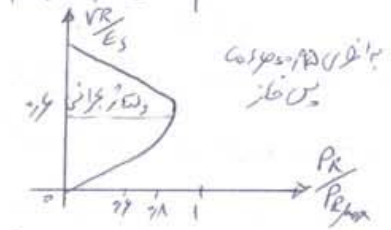
$P_{R_{max}}$ حداکثر توان دریافتی توسط گیرنده است.

اگر با کاهش Z_{LD} با صورت تقاضا را افزایش دهیم، P_R قبل از زدن ۲ حداکثر ابتدا سریعاً افزایش یافته و سپس کندتر افزایش می‌یابد و بعد از آن شروع به کاهش می‌کند. توان، زمانی حداکثر است که افت ولتاژ خط از نظر مقدار مساوی V_R باشد یعنی $\frac{Z_{LN}}{Z_{LD}} = 1$ باشد.

زمانی که Z_{LD} کاهش یابد، I زیاد می‌شود و V کم می‌شود. در ابتدا در مقادیر بزرگ Z_{LD}، افزایش I جریان بر کاهش در ولتاژ غالب آمده در نتیجه P_R با کاهش Z_{LD} سریعاً افزایش می‌یابد اما زمانیکه Z_{LD} کمتر از Z_{LN} باشد کاهش در V_R بر افزایش در جریان غالب می‌شود و در نتیجه تأثیر خالص آن کاهش P_R است. اگر با وسیله تراستفورماتورهای ULTC تعدیل شود، تغییر دهنده سعی خواهد کرد که ولتاژ را بالا ببرد. این موضوع باعث می‌شود که Z_{LD} مؤثر از دیدگاه سیستم کاهش یابد که خود باعث می‌شود V_R باز هم کاهش یابد و سرانجام منجر به کاهش قرائیند، ولتاژ شود. این موضوع شکل ساده و خالص ناپایداری ولتاژ است.

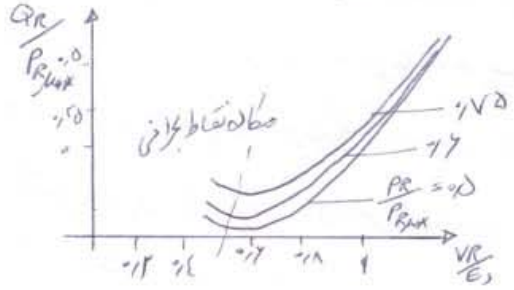
* از دیدگاه پایداری ولتاژ، رابطه بین V_R و P_R مورد توجه است.

معمولاً تنها نقاط کاری بالای نقاط بحرانی شرایط کاری قابل قبول را نشان می‌دهند.



* منحنی مقابل رابطه بین Q_R و V_R را برای یک P_R نشان می‌دهد.

سیستم در محدوده‌ای که مشتق $\frac{dQ_R}{dV_R}$ مثبت است پایدار است. حد پایداری ولتاژ (نقطه بحرانی) زمانی فرا می‌رسد که مشتق، صفر باشد. از این رو بخشی از منحنی‌ها که در طرف راست نقطه حداقل قرار دارد ناپایدار محدود عملکرد پایدار است.



* پایداری ولتاژ به دو دسته تقسیم می‌شود:

الف) پایداری اغتشاش کوچک ولتاژ:

مربوط به توانایی سیستم در کنترل ولتاژ بعد از وقوع اغتشاش‌های کوچک مثلاً تغییرات کوچک در بار سیستم است. سیستم از نظر ولتاژ پایدار است اگر حساسیت V-Q برای همه شین‌ها مثبت و ناپایداری است اگر حساسیت V-Q حداقل برای یک شین منفی باشد.

ناپایداری همیشه به شکل خالص بروز نمی‌کند، اغلب ناپایداری ولتاژ و زاویه با یکدیگر تداخل می‌کنند.

پایداری میان مدت و بلندمدت:

در پایداری بلندمدت فرض می‌شود که توسعه‌های توان شکرون کننده بین ماشین‌های شکرون اعمال شده است و در نتیجه شرکاس کمتر افتی دقیق سیستم برقرار است. در مطالعات پایداری میان مدت، تأکید بر توسعه‌های توان شکرون کننده بین ماشین‌های شکرون و از جمله تأثیر بعضی از دینامیک‌ها کندتر را احتمالاً تغییرات شدید ولتاژ یا فرکانس است.

از نظر زمانی، بازه‌ها نوعی به صورت زیر است:

کوتاه مدت یا گذرا: صفر تا ۱۰ ثانیه

میان مدت: ۱۰ ثانیه تا چند دقیقه

بلندمدت: چند دقیقه تا چند ده دقیقه