سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

مدرس: کاظم وارثی (kzm.varesi@gmail.com)

تعداد واحد: ۳ (نظری)

پیش‌نیاز: -

هم‌نیاز: الکترونیک صنعتی

هدف: آشنایی با مبانی و ساختارهای انتقال جریان متناوب انعطاف‌پذیر

- **مقدمه:** تعاریف و مفاهیم FACTS.
- **مبدل‌های منبع ولتاژ**
- **مبدل‌های منبع جریان**
- **جبران‌سازهای موازی استاتیک (شامل SVC و STATCOM)**
- **جبران‌سازهای سری استاتیک (شامل SSSC، TCSC، TSSC و GCSC)**
- **جبران‌سازهای ترکیبی سری و موازی (شامل IPFC و UPFC)**
- **تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)**

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ مراجع درس

[۱] دکتر احمد فریدون درافشان، آشنایی با FACTS، نشر مهندسین مشاور قدس نیرو، بهار ۱۳۸۴.

[۲] دکتر محمدرضا حقی‌فام، مهندس مهدی رسول‌زاده حقیقی، سیستم‌های انتقال انعطاف‌پذیر AC (FACTS)، کمیته تحقیقات شرکت سهامی برق منطقه‌ای هرمزگان.

[3] R. M. Mathur, R. K. Varma, Thyristor-based FACTS Controllers, Wiley-IEEE, 2002.

[4] V. K. Sood, HVDC and FACTS Controllers, Springer, 2004.

[5] G. Hingorani, L. Gyugyi, Understanding FACTS, Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems, Wiley-IEEE Press, 1999.

[6] E. Acha, FACTS Modelling and Simulation in Power Networks, Wiley, 2004.

[7] X. P. Zhang, C. Rehtanz, B. Pal, Flexible AC Transmission Systems: Modelling and Control, 2nd edition, Springer, 2012.

[8] Y. H. Song, Flexible ac Transmission Systems (FACTS), IET Press, 1999.

[9] K. R. Padiyar, FACTS Controllers in Power Transmission and Distribution, 2007.

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❖ ارزیابی:

- پروژه: ۱۰ نمره
- پایان‌ترم: ۱۰ نمره
- حضور و غیاب: ۱ نمره (اضافی)

❖ روند پروژه:

۱. **انتخاب مقاله معتبر (چاپ شده در مجلات معتبر، ارائه شده بعد از سال ۲۰۱۵) با موضوع مورد علاقه (یک هفته)**
۲. **ارائه گزارش فارسی –صرفاً ترجمه– (دو هفته)**
۳. **تجزیه و تحلیل کامل مقاله انتخابی و روابط ارائه شده در آن و تحویل گزارش دوم (دو هفته)**
۴. **پیشنهاد ایده(های) جدید، پیاده‌سازی آن در مقاله، انجام شبیه‌سازی‌های مربوطه و ارائه گزارش سوم (سه هفته، قابل تمدید تا ۵ هفته)**
۵. **آماده‌سازی مقاله برای ارائه در کنفرانس‌های معتبر نمایه شده در IEEE (دو هفته)**
۶. **ارائه شفاهی کارهای انجام گرفته، در قالب فایل پاور پوینت برای سایر اعضاء کلاس، در موعد مقرر (بر اساس زمان‌بندی تعیین شده).**

- **توجه:** هر گام از روند پروژه، دارای نمره‌بندی جداگانه می‌باشد.

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❖ لطفاً برای دریافت اطلاعات تکمیلی درباره این درس، به آدرس: **سایت دانشکده مهندسی برق، آموزش، دروس کارشناسی ارشد، ادوات FACTS** مراجعه بفرمایید.

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ کنترل‌کننده‌های FACTS

❖ دسته‌بندی کنترل‌کننده‌های FACTS

I. کنترل‌کننده‌های FACTS مبتنی‌بر تریستور (Thyristor Based FACTS Controllers)

a. جبران‌گر استاتیکی توان راکتیو (Static VAR Compensator (SVC))
b. خازن سری کنترل‌شده بوسیله تریستور (Thyristor Controlled Series Capacitor (TCSC))
c. شیفت‌دهنده فاز (Phase Shifter)

II. کنترل‌کننده‌های FACTS مبتنی‌بر مبدل (Converter Based FACTS Controllers)

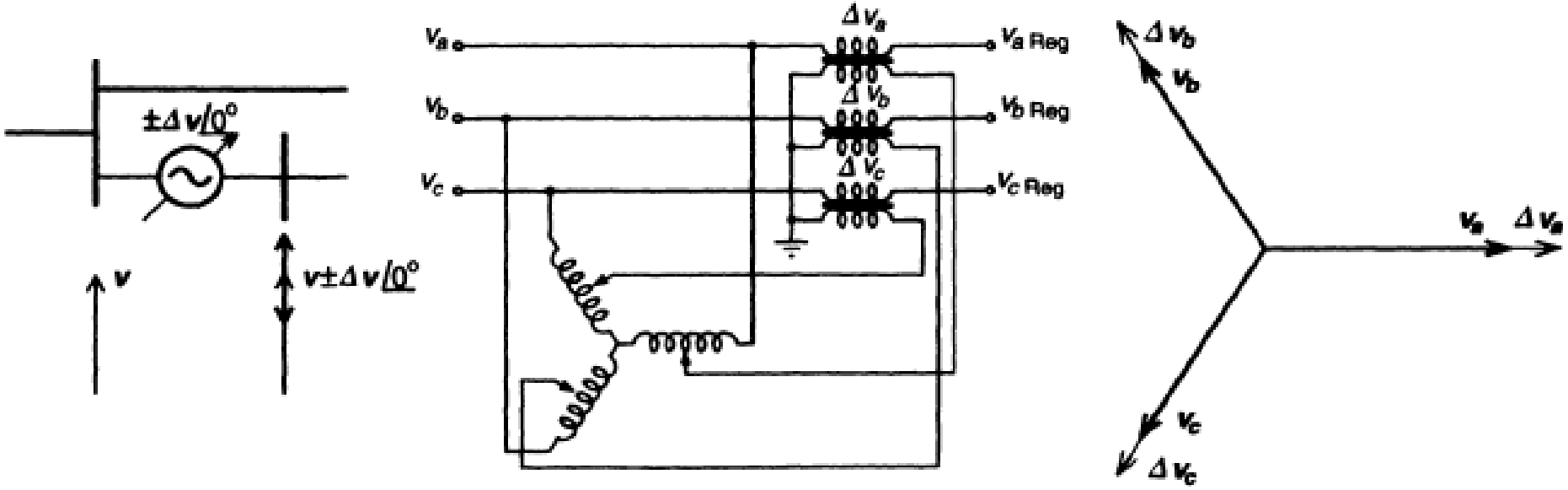
a. جبران‌گرهای سنکرون استاتیکی (Static Synchronous Compensators (STATCOM))
b. جبران‌گر سری سنکرون استاتیکی (Static Synchronous Series Compensators (SSSC))
c. کنترل‌کننده یکپارچه عبور توان (Unified Power Flow Controller (UPFC))
d. کنترل‌کننده عبور توان بین‌خطی (Interline Power Flow Controller (IPFC))
e. ...

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ مفهوم پایه تنظیم‌کننده ولتاژ

- در ساده‌ترین حالت، تنظیم ولتاژ هر باسبار یعنی جمع‌کردن برداری ولتاژ آن باسبار با مؤلفه ولتاژی هم‌فاز با آن، که منجر به تولید بردار ولتاژی هم‌فاز ولی با دامنه متفاوت با ولتاژ باسبار مذکور می‌گردد.

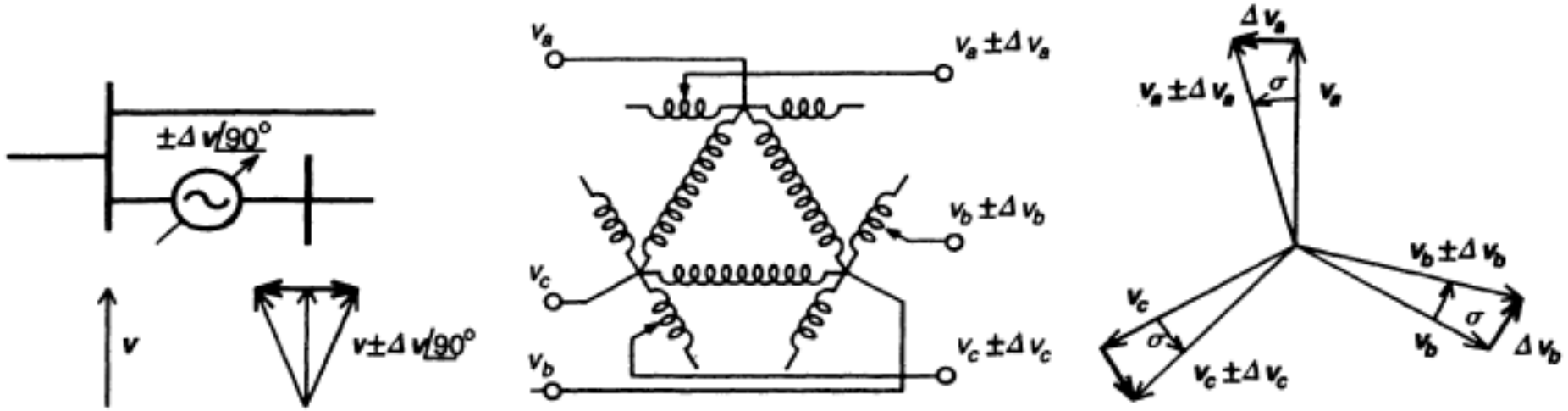


سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ مفهوم پایه تنظیم‌کننده زاویه فاز

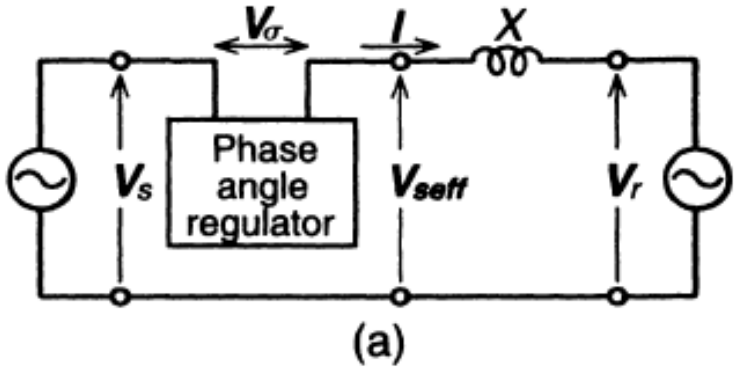
- بصورت مشابه، تنظیم‌کننده زاویه فاز نیز وظیفه تغییر زاویه فاز ولتاژ باسبار را برعهده دارد. در ساده‌ترین حالت، مؤلفه با ولتاژ باسبار جمع (برداری) می‌شود که بر آن عمود است. در چنین حالتی، زاویه ولتاژ باسبار تغییر می‌کند ولی اندازه (دامنه) آن تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند.



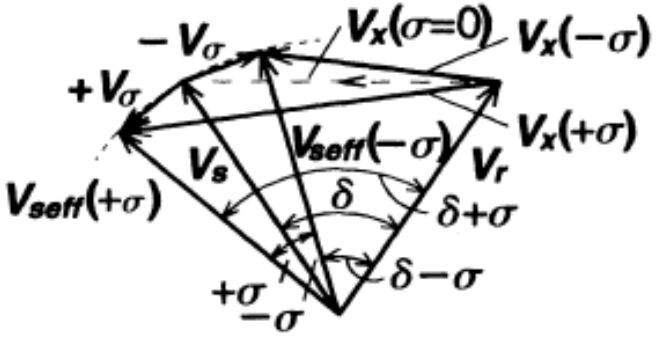
سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

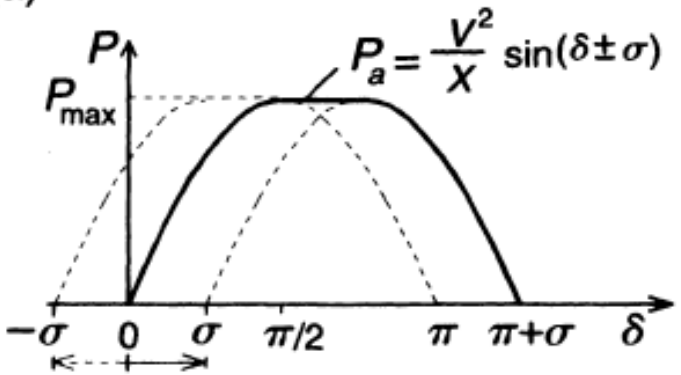
❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ مفهوم پایه تنظیم‌کننده زاویه فاز



(a)





$$V_{seff} = V_s + V_\sigma \text{ and } |V_{seff}| = |V_s| = V_{seff} = V_s = V$$

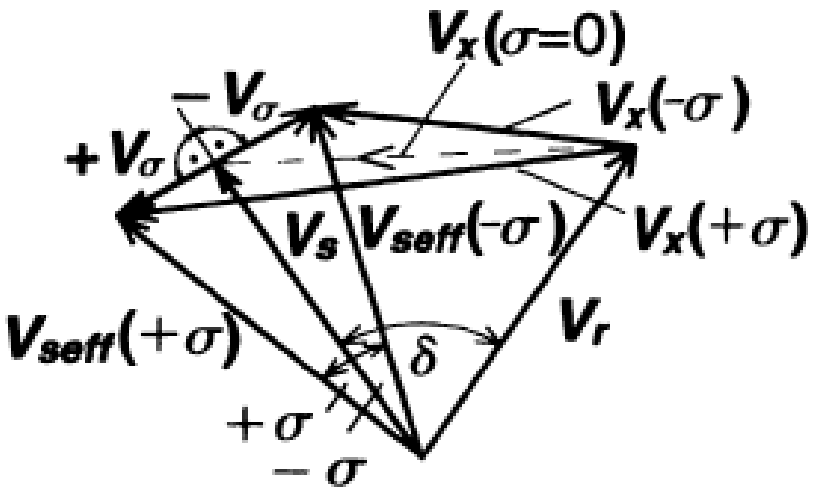
$$P = \frac{V^2}{X}\sin(\delta - \sigma)$$

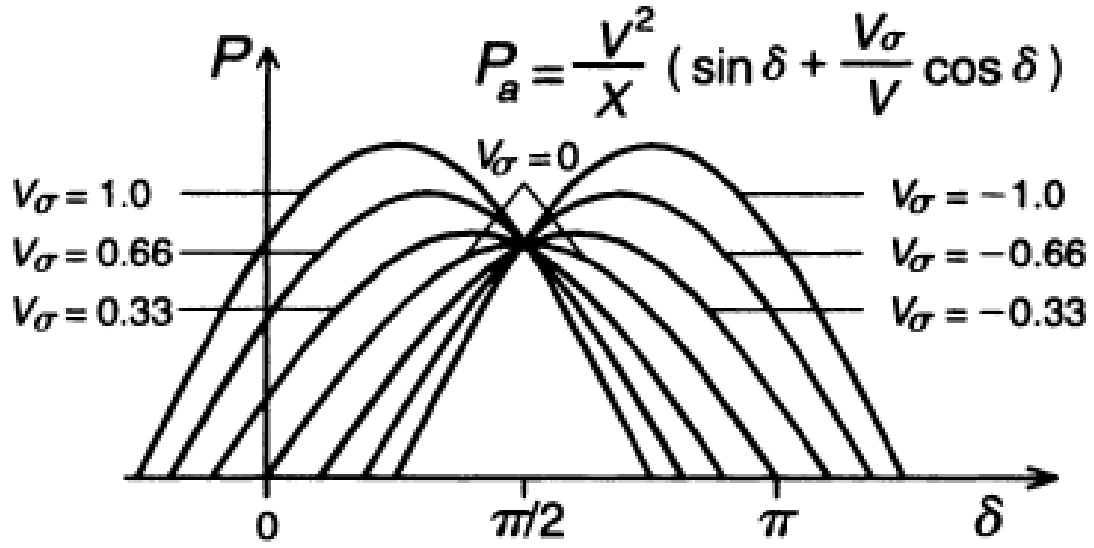
$$Q = \frac{V^2}{X}\{1 - \cos(\delta - \sigma)\}$$

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ مفهوم پایه تنظیم‌کننده زاویه فاز





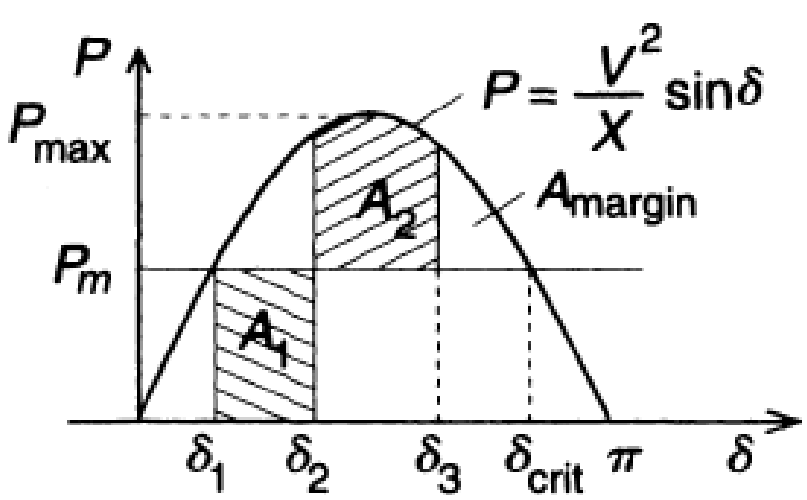
$$V_{seff} = V_s + V_\sigma \text{ and } |V_{seff}| = V_{seff} = \sqrt{V^2 + V_\sigma^2}$$

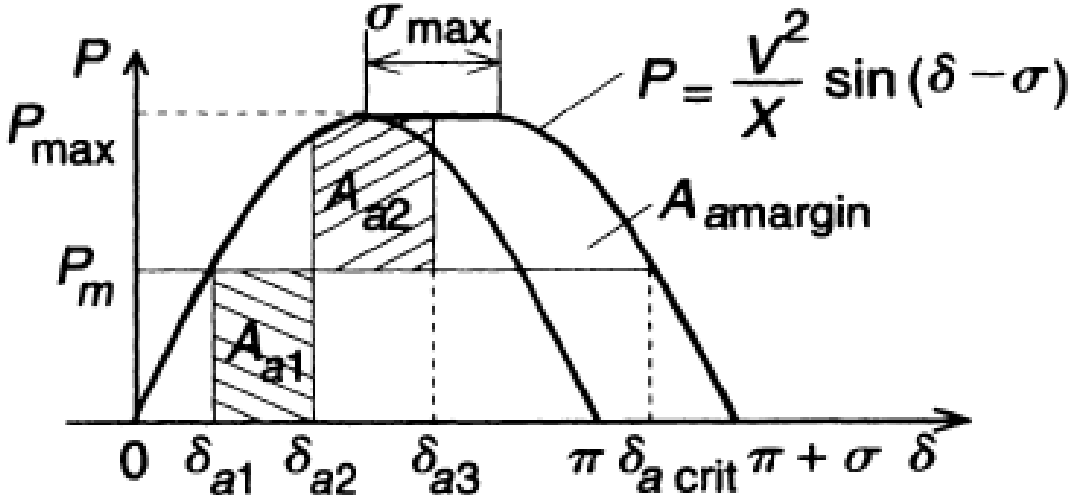
$$P = \frac{V^2}{X}\left(\sin\delta + \frac{V_\sigma}{V}\cos\delta\right)$$

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ بهبود پایداری گذرا با استفاده از تنظیم‌کننده زاویه فاز





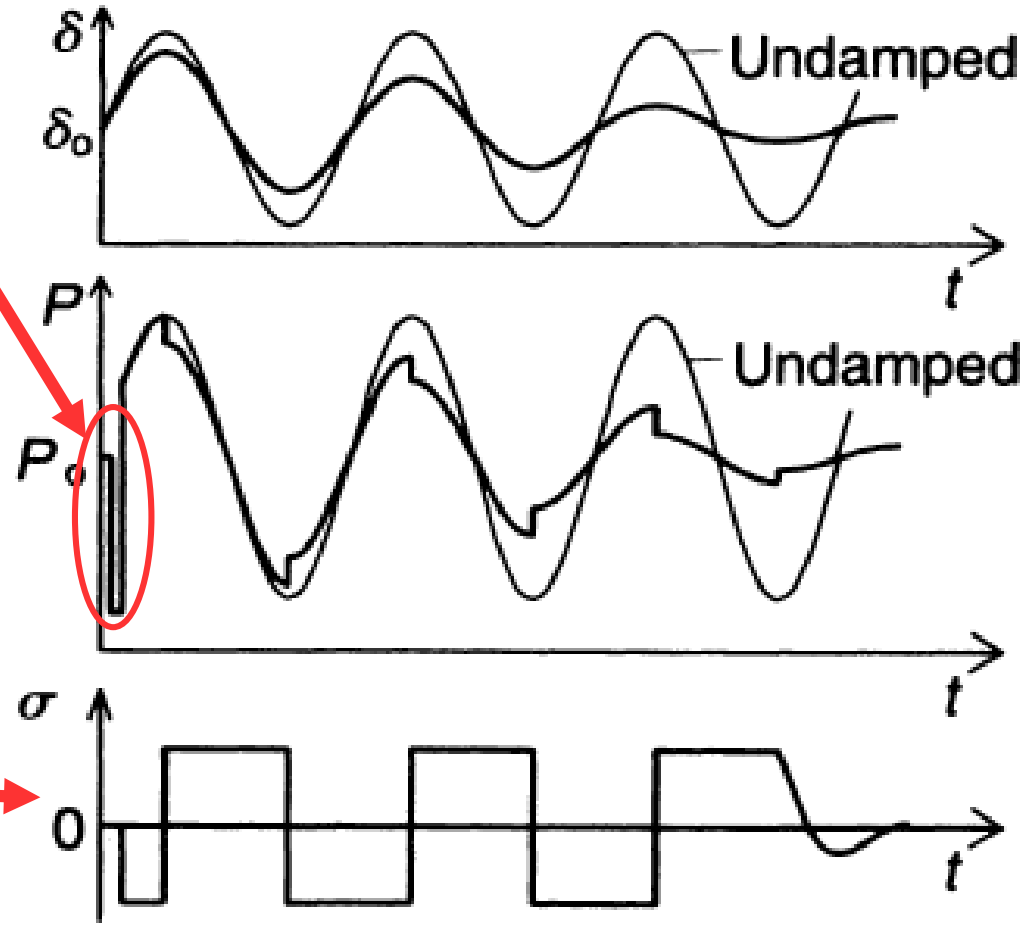
سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ میراسازی نوسانات توان (زاویه بار) با استفاده از تنظیم‌کننده زاویه فاز

افت موقت توان نشان‌گر اغتشاشی است که موجب شروع نوسان شده است

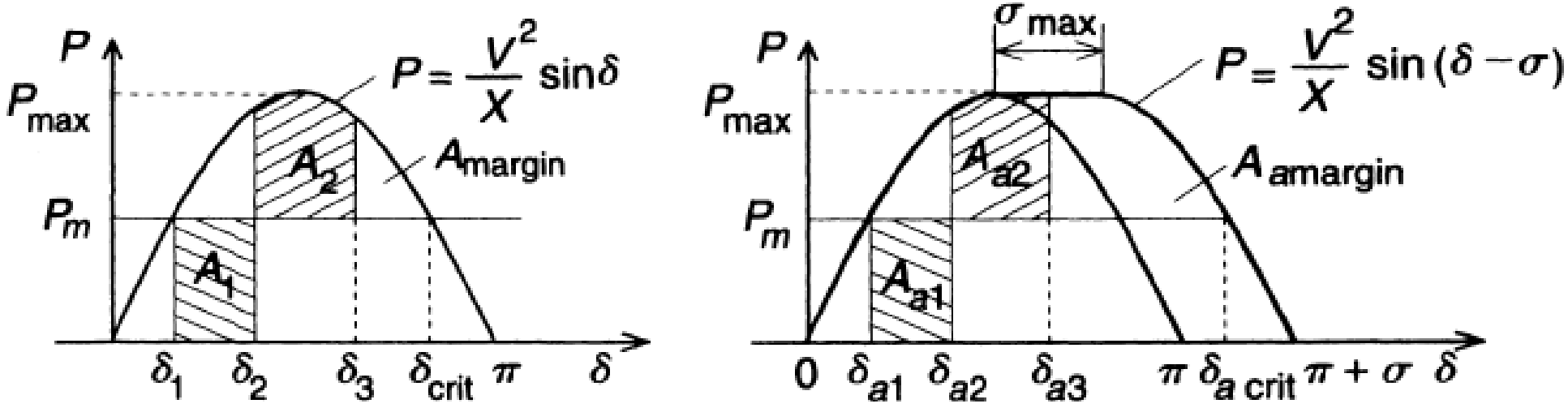
زمانیکه $\frac{d\delta}{dt} > 0$، شیفت‌دهنده فاز زاویه σ منفی تولید می‌کند تا با افزایش زاویه بین دو انتهای خط، توان انتقالی از خط را افزایش دهد. اگر $\frac{d\delta}{dt} < 0$ باشد، شیفت‌دهنده فاز زاویه σ مثبت تولید می‌کند. که منجر به کاهش زاویه بین دو انتهای خط و در نتیجه کاهش توان انتقالی از خط می‌گردد.



سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

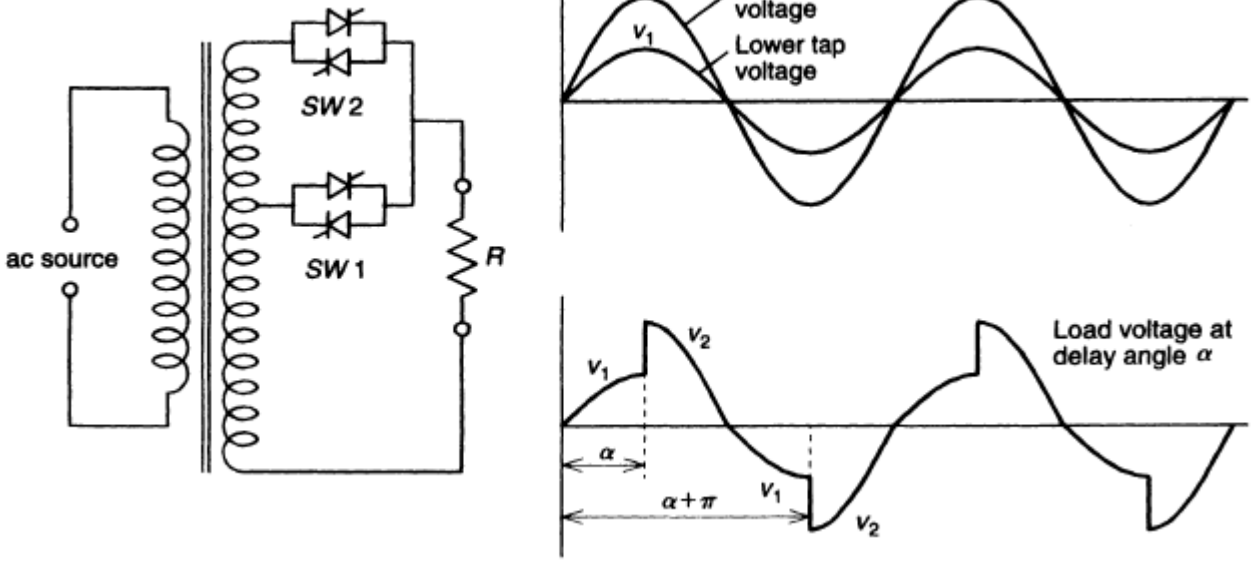
❖ تنظیم‌کننده زاویه فاز و ولتاژ مبتنی بر تریستور

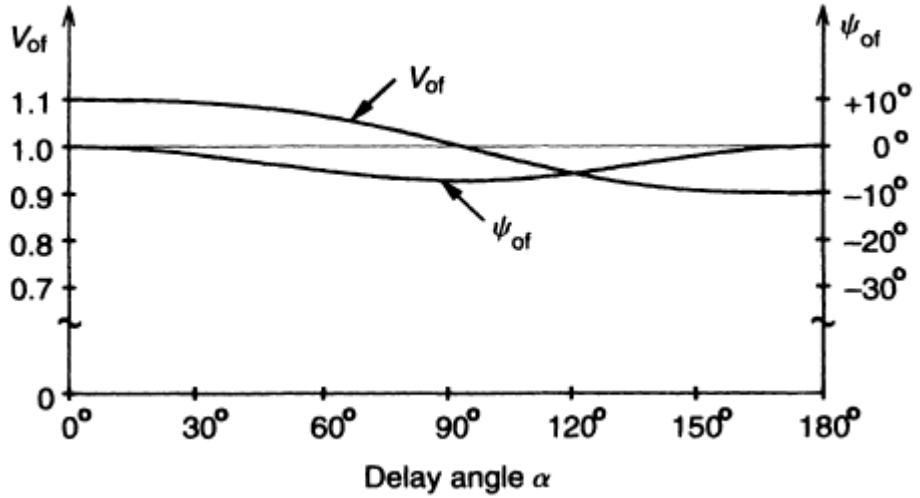


سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ اساس کار تنظیم‌کننده زاویه فاز و ولتاژ مبتنی بر تریستور





$$V_{of} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$\psi_{of} = \tan^{-1}\left(\frac{a_1}{b_1}\right)$$

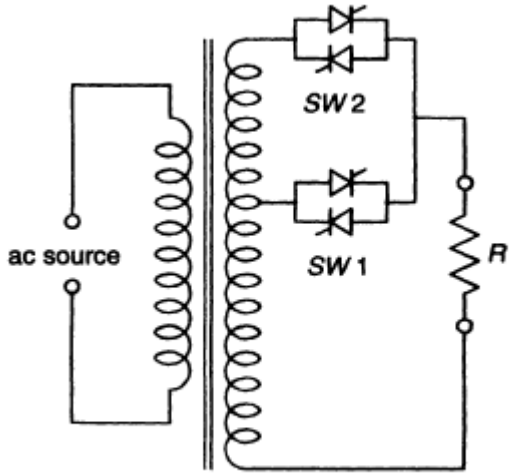
$$a_1 = \left(\frac{V_2 - V_1}{2\pi}\right)(\cos 2\alpha - 1)$$

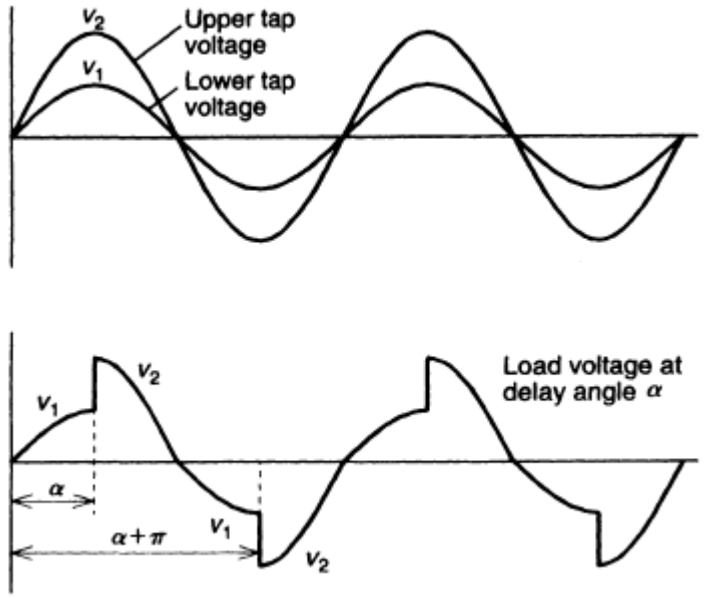
$$b_1 = V_1 + \left(\frac{V_2 - V_1}{\pi}\right)\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)$$

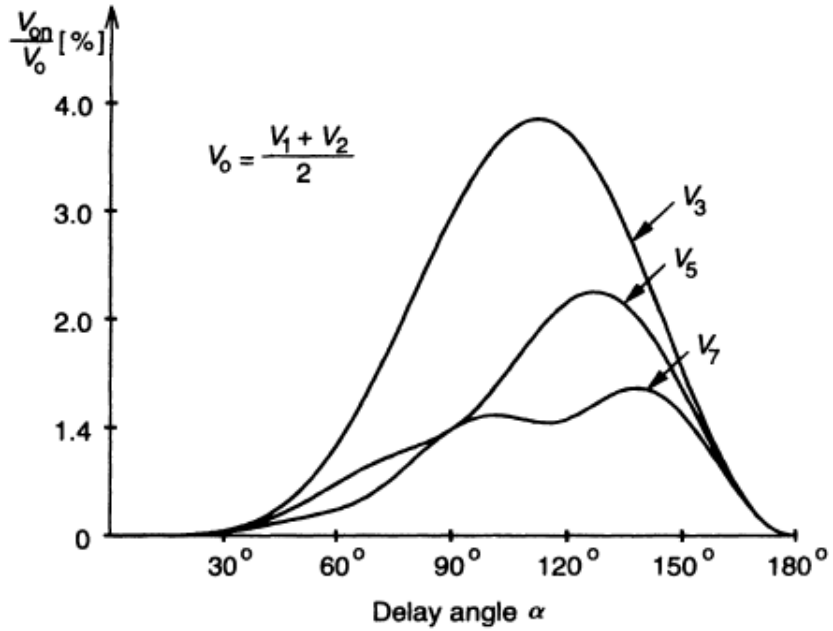
سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ اساس کار تنظیم‌کننده زاویه فاز و ولتاژ مبتنی بر تریستور







$$V_{of} = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$$

$$\psi_{of} = \tan^{-1}\left(\frac{a_1}{b_1}\right)$$

$$a_1 = \left(\frac{V_2 - V_1}{2\pi}\right)(\cos 2\alpha - 1)$$

$$b_1 = V_1 + \left(\frac{V_2 - V_1}{\pi}\right)\left(\pi - \alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right)$$

$$V_{on} = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

$$a_n = \left(\frac{V_2 - V_1}{\pi}\right)\left(\frac{1}{n-1} - \frac{1}{n+1} + \frac{\cos(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\cos(n-1)\alpha}{n-1}\right)$$

$$b_n = \left(\frac{V_2 - V_1}{\pi}\right)\left(\frac{\sin(n+1)\alpha}{n+1} - \frac{\sin(n-1)\alpha}{n-1}\right)$$

سیستم‌های انتقال جریان متناوب انعطاف پذیر (FACTS)

❑ تنظیم‌کننده‌های زاویه فاز و ولتاژ استاتیک (شامل TCPAR و TCVR)

❖ اساس کار تنظیم‌کننده زاویه فاز و ولتاژ مبتنی بر تریستور