

کمپانزاتورهای استاتیکی کنترل شده تریستوری و به کارگیری یک سیستم T.C.R. در یک شبکه انتقال انرژی الکتریکی

سیدحسین حسینی

دانشیار - دانشکده فنی دانشگاه تبریز

غلامرضا ذاکر

مربی - مجتمع آموزشی علوم دریائی نوشهر

چکیده:

عدم کنترل قدرت راکتیو در یک شبکه قدرت باعث پایین آمدن کیفیت انتقال انرژی و افزایش تلفات سیستم می شود. کمپانزاتورهای استاتیکی کنترل شونده تریستوری سیستم هایی هستند که اخیراً جهت کنترل قدرت راکتیو در شبکه به کار گرفته شده اند. امکان کنترل کننده تریستور بوده و زاویه آتش تریستور تعیین کننده مقدار قدرت راکتیو تزریقی کمپانزاتور به سیستم می باشد. برای اینکه کمپانزاتور استاتیکی مشخصه کاری دو حالت مانند موتور سنکرون، داشته باشد باید حتماً دارای یک سیستم T.C.R. باشد (Thyristor Controlled Reactor). این سیستم نه تنها در بی باری و بارهای کم شبکه موجب تثبیت ولتاژ می شود بلکه در بارهای نامی و زیاد نیز موجب پیوستگی مشخصه کار کمپانزاتور می گردد.

در این مقاله ضمن بررسی کار یک سیستم T.C.R. سه فازه چه از نقطه نظر مقدار قدرت راکتیو جذب شده و چه از نقطه نظر هارمونیک های تولیدی، یک شبکه انتقال انرژی منتهی به یک سیستم T.C.R. مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است، تغییر کمیت های سیستم از قبیل ولتاژ انتهای خط، ضریب قدرت، مقدار قدرت راکتیو کمپانزاتور جهت تثبیت ولتاژ و ... در اثر بارگذاری خط بررسی شده است. نتایج بررسی دقیقاً گویای کارایی یک سیستم T.C.R. در شبکه انتقال انرژی الکتریکی می باشد.

Thyristor Controlled Static Compensators and Application of a T.C.R. in Electric Power Systems

S.H. Hosseini, Ph. D.

Associate Professor, University of Tabriz

G.R. Zaker

Lecturer, Institute of Navigation Science, Novshahre.

Abstract:

As a result of uncontrolled reactive power in the electric system, the network quality will not be in acceptable level. Thyristor controlled static compensators are recently used for controlling the reactive power, which consists of two basic schemes named T.C.R. and T.S.C. (or S.C.). Employing back to back connected thyristors as a control element in T.C.R., causes absorbed Var to be a function of firing angle. At the little or off load conditions of the electric network, T.C.R. system causes the network voltage to be constant. In addition, at the full load condition it causes characteristics of the compensator to be continuous.

In this paper besides studying the three phase T.C.R., a transmission line which consists of a T.C.R. has been analysed. The graphic result of system quantities variations as voltage, power factor, ... shows T.C.R. system applications in power systems.

(۱) مقدمه:

راکتور کنترل پذیر جذب شود و در این حالت کار کمپانزاتور به صورت شناور (Floating) است. در شرایطی که ولتاژ شبکه بالاتر از حد بالائی ولتاژ کمپانزاتور باشد، راکتور کلاً به صورت جذب کننده قدرت راکتیو از شبکه به کار گرفته می شود که این شرایط راکتور تعیین کننده حد بالائی قدرت نامی کمپانزاتور می باشد. در این نوع کمپانزاتورهای استاتیکی راکتور اشباع پذیر یا راکتورهای کنترل شونده ترستوری به کار گرفته می شوند.

نوع دیگر کمپانزاتورهای استاتیکی که مشخصه های ولت-آمپر ثابت دارند، راکتورهای کنترل شونده ترستوری و خازنهای قطع و وصل شونده ترستوری (Thyristor controlled reactor + Thyristor switched capacitor (or switched Capacitor)) می باشند.

به طور خلاصه کمپانزاتورهای استاتیک بر اساس مستلزمات شبکه و هدف طراحان ممکن است به یکی از چند صورت زیر در شبکه به کار گرفته شوند (۱) و (۱۰).

۱- راکتورهای اشباع شونده

۲- راکتورهای کنترل شونده ترستوری (T.C.R.)

۳- راکتور ترانسفورمر کنترل شونده ترستوری

۴- خازنهای قطع و وصل شونده ترستوری (T.S.C.)

۵- ترکیبی از T.C.R. و T.S.C.

۶- ترکیبی از T.C.R. و S.C. (switch capacitor)

در این میان در شبکه های قدرت فقط کاربرد کمپانزاتورهای استاتیکی نوع پنجم و ششم که مشخصه ای شبیه موتورهای سنکرون دارند، مورد توجه و مطالعه مهندسين قدرت قرار گرفته است. در این مورد راکتورهای کنترل شونده ترستوری از اهم مسائل می باشد. کنترل متقارن زاویه آتش

هر چند که از دهها سال پیش محدودیت و کمبود منابع اولیه انرژی الکتریکی برای بشر امری شناخته شده است، به لحاظ اینکه گرایش به سمت مصرف بیشتر انرژی الکتریکی وجود دارد بالا بردن بهره و قابلیت اطمینان سیستمهای انرژی الکتریکی نظر طراحان و برنامه ریزان شبکه قدرت را به خود معطوف ساخته است.

در این رابطه یکی از مسائلی که مهندسين شبکه انرژی الکتریکی با آن روبرو بوده و هستند وجود قدرت راکتیو می باشد، تبادل قدرت راکتیو در قسمت های مختلف شبکه، اجتناب ناپذیر است و بالا رفتن تلفات سیستم، افزایش هزینه شبکه برق رسانی، مسأله پایداری و ... از جمله پی آمدهای نامطلوب وجود قدرت راکتیو کنترل نشده در سیستم می باشد. با پیشرفت تکنولوژی ساخت نیمه هادیهای قدرت،

تحولی اساسی در شیوه کنترل قدرت راکتیو در شبکه به وجود آمده و در این راستا کمپانزاتورهای استاتیکی کنترل شونده ترستوری جایگزین موتورهای سنکرون (که دارای مشکلات فراوان از قبیل بازده کم، مسأله پایداری، مشکلات راه اندازی و ... است) گردیده است. استفاده از این نوع کمپانزاتورها، اصلاح ضریب توان، تنظیم و تثبیت ولتاژ، حذف نامعادلی و ... را در حالت کار دینامیکی شبکه قدرت امکان پذیر می سازد (۱) و (۵). یک نوع کمپانزاتور استاتیکی متشکل از راکتورهای کنترل شونده و خازنهای ثابت می باشد. وقتی ولتاژ سیستم کمتر یا برابر مینیمم سطح تغییرات کمپانزاتور باشد قدرت راکتیو تولید شده توسط خازن به سیستم تزریق شده و دیگر توسط راکتور جذب نمی شود، یعنی کمپانزاتور با تمام قدرت نامی خود به صورت منبع تولید قدرت راکتیو به کار گرفته می شود، اگر ولتاژ سیستم بالاتر از این حد مینیمم باشد ممکن است که مقداری از قدرت راکتیو تولیدی خازنها توسط

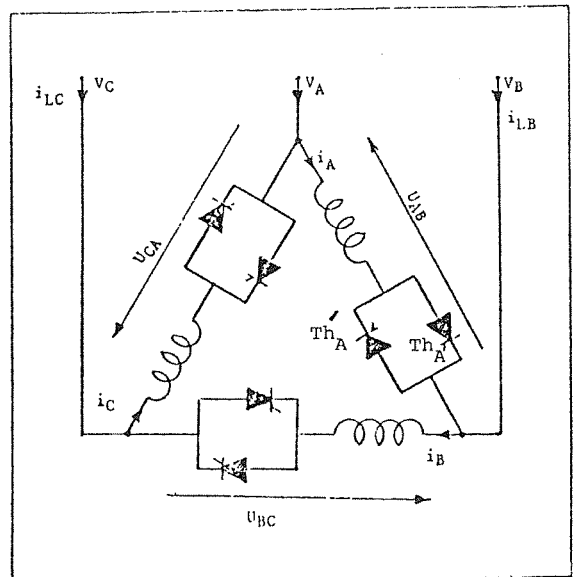
تریستورهای سه فاز امکان کنترل پیوسته قدرت راکتور جذب شده از صفر تا مقدار نامی را فراهم می‌آورد. اما کنترل توسط تغییر زاویه آتش تریستور در فاصله 90° تا 180° باعث ایجاد هارمونیکهای جریان در شبکه تغذیه می‌شود که خود کیفیت کار شبکه را پایین می‌آورد.

با توجه به نکات فوق اصول کار و نحوه بکارگیری T.C.R. در یک سیستم قدرت و مسائلی که در شبکه ایجاد می‌کند مورد بررسی قرار می‌گیرد. از جمله این مسائل درصد هارمونیکهای حاصل از تغییر زاویه آتش تریستورها در شبکه است که در سیستمهای شش پالسه و دوازده پالسه اشاره شده و مورد مقایسه قرار گرفته است (۶) و (۱۰).

۲) سیستم T.C.R. سه فاز

عموماً سیستمهای T.C.R. که در شبکه های سه فازه به کار گرفته می‌شوند به صورت شش و یا دوازده پالسه هستند. یک راکتور کنترل شونده شش پالسه از سه واحد تک فاز که به صورت مثلث بسته شده اند تشکیل یافته است و المان کنترل کننده دو تریستور آنتی پارالل می‌باشند که به سری با راکتور هر فاز قرار می‌گیرند (شکل ۱).

یک سیستم T.C.R. دوازده پالسه متشکل از دو سیستم مشابه T.C.R. شش پالسه می‌باشد که عموماً از ثانویه و ثالثیه یک ترانسفورمر با سه سیم پیچی و با اتصال $\Delta/\Delta/\Delta$ تغذیه می‌شوند. در قسمت اول این مقاله یک سیستم T.C.R. شش پالسه مورد آنالیز قرار گرفته و برای سیستم دوازده پالسه



شکل ۱ - راکتور کنترل شونده تریستوری شش پالسه سه فاز (۵).

فقط نتایج آنالیز ریاضی به صورت گرافیکی ارائه گردیده است علاقمندان به تجزیه و تحلیل ریاضی می‌توانند به مرجع شماره (۱۰) مراجعه نمایند.

مطابق شکل (۱) در یک سیستم شش پالسه برای کنترل زاویه آتش تریستورها، شش پالس مجزا اما متقارن لازم است. برای شروع بررسی کار مدار فوق، فرض شود که سه راکتور مربوط به سه فاز کاملاً مشابه و ولتاژ سه فاز اعمال شده متعادل است و زوایای آتش در نیم سیکلهای مثبت و منفی طوری انتخاب شده اند که مدت زمان هدایت هر یک از تریستورها کاملاً مساوی است (اعم از نیم سیکلهای مثبت یا منفی) لذا به علت تقارن شبکه سه فاز محاسبات جریان فقط روی یک فاز انجام شده و جریان سایر فازها از آن نتیجه می‌گردد (۶).

بنابراین اگر Th_A در زاویه α و Th'_A در زاویه $\pi + \alpha$ آتش شود، کار مدار مشابه کار یک فاز بوده لذا جریان فاز A خواهد شد.

$$i_A(t) = a_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{3}) + \sum_{K=1}^{\infty} a_n \sin n(\omega t - \frac{\pi}{3}); n = 2K + 1$$

$$a_1 = \frac{\sqrt{3} V_m}{\pi L \omega} [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)]$$

$$a_n = \frac{4\sqrt{3} V_m}{L} \left[\frac{1}{2(n+1)} \sin(n-1)\alpha - \frac{1}{n} \cos\alpha \sin n\alpha \right]$$

بنابراین اگر تریستورهای Th_B و Th'_B در زوایای $\frac{2\pi}{3} + \alpha$ و $\frac{4\pi}{3} + \alpha$ و تریستورهای Th_C و Th'_C در زوایای $\frac{4\pi}{3} + \alpha$ آتش شوند روابط مشابهی برای جریان فازهای مربوطه می‌توان نوشت. پس از محاسبه جریان سایر فازها جریان خط $i_{LA}(t)$ چنین خواهد بود.

$$i_{LA}(t) = \sqrt{3} a_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{3} - \frac{\pi}{6}) + \sum_{K=1}^{\infty} A_n a_n \sin [n(\omega t - \frac{\pi}{3}) + \alpha]; n = 2K + 1$$

$$a_1 = \frac{\sqrt{3} V_m}{\pi L \omega} [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)] \quad (I)$$

$$a_n = -\frac{4\sqrt{3} V_m}{\pi L \omega} \left[\frac{1}{2(n+1)} \sin(n+1)\alpha + \frac{1}{2(n-1)} \sin(n-1)\alpha - \frac{1}{n} \cos\alpha \sin n\alpha \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} n=3K \\ A=0 \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} n=6K \pm 1 \\ A=\sqrt{3} \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} n=6K-1 \\ \alpha=+30^\circ \end{array} \right\}, \left\{ \begin{array}{l} n=6K+1 \\ \alpha=-30^\circ \end{array} \right\}$$

بنابراین رابطه (I) را به صورت زیر نیز می‌توان نوشت:

شکل موج جریان خط به ازاء چهار مقدار متفاوت زاویه آتش تریستور به همراه شکل موج جریان فاز نشان داده شده است. به عبارت دیگر قدر مطلق دامنه هارمونیکهای جریان خط را بر حسب P.U. می توان به صورت کلی زیر نوشت:

$$a_1 = \frac{1}{a} [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)] \quad \text{P.U.}$$

$$a_n = -\frac{4}{\pi} \left[\frac{1}{2(n+1)} \sin(n+1)\alpha + \frac{1}{2(n-1)} \sin(n-1)\alpha - \frac{1}{n} \cos\alpha \sin n\alpha \right];$$

$$n = 6K \pm 1$$

نتایج گرافیکی آنالیز فوق به صورت شکل (۳) می باشد. در این شکل تغییرات قدر مطلق دامنه هارمونیک اصلی و فرعی در اثر تغییر زاویه آتش تریستور نشان داده شده است. مطابق شکل بالاترین هارمونیک را هارمونیک پنجم با مقدار 5.05 در صد به خود اختصاص می دهد. اگر سیستم T.C.R. به صورت دوازده پالسه (چنانچه پیشتر اشاره گردید)

$$i_{LA}(t) = \sqrt{3}a_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) + \sum_{K_1=1}^{\infty} \sqrt{3}a_{n1} \sin[n1(\omega t - \frac{\pi}{3}) - \frac{\pi}{6}] + \sum_{K_2=1}^{\infty} \sqrt{3}a_{n2} \sin[n2(\omega t - \frac{\pi}{3}) + \frac{\pi}{6}]$$

$$a_1 = \frac{\sqrt{3}V_m}{\pi L\omega} [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)] \quad \text{(II)}$$

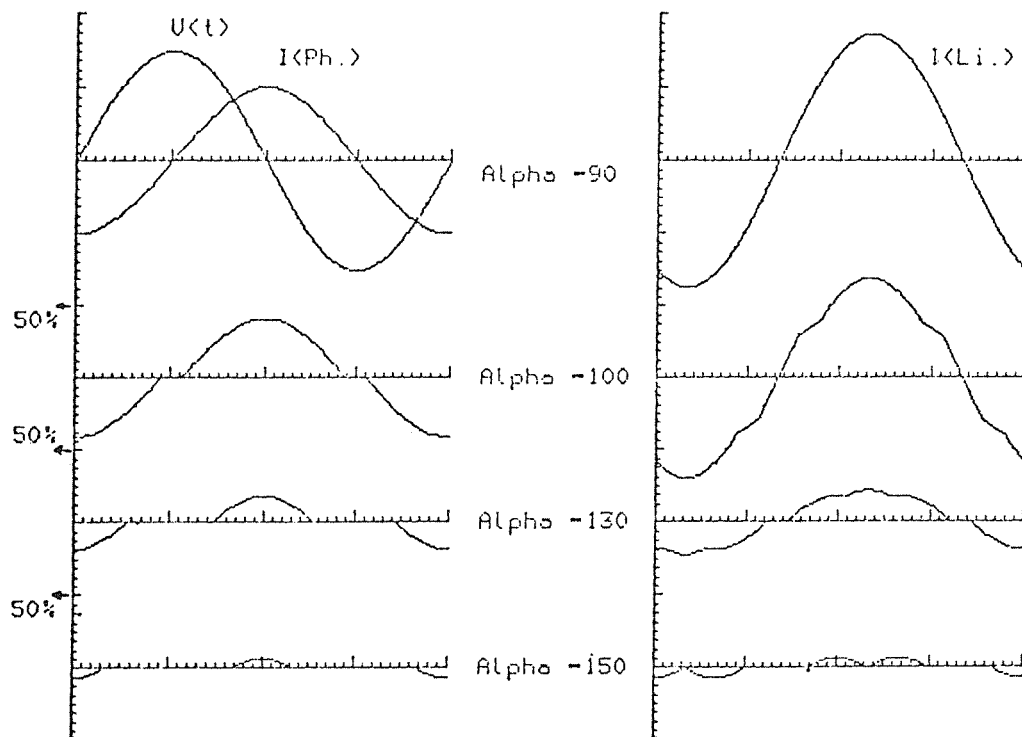
$$a_{n1} = -\frac{4\sqrt{3}V_m}{\pi L\omega} \left[\frac{1}{2(n1+1)} \sin(n1+1)\alpha - \frac{1}{2(n1-1)} \sin(n1-1)\alpha - \frac{1}{n1} \cos\alpha \sin n1\alpha \right];$$

$$n1 = 6K_1 + 1$$

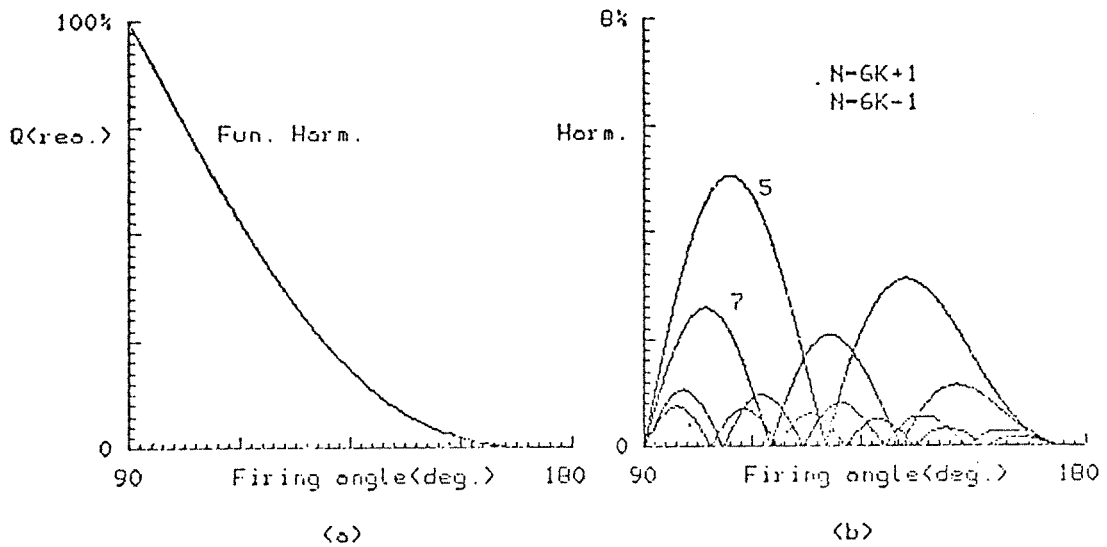
$$a_{n2} = -\frac{4\sqrt{3}V_m}{\pi L\omega} \left[\frac{1}{2(n2+1)} \sin(n2+1)\alpha + \frac{1}{2(n2-1)} \sin(n2-1)\alpha - \frac{1}{n2} \cos\alpha \sin n2\alpha \right];$$

$$n2 = 6K_2 - 1$$

جمله دوم رابطه (II) مربوط به جریانهای مؤلفه مستقیم و جمله سوم مربوط به جریانهای مؤلفه معکوس است. اگر به معادله جریان به دست آمده دقت شود، ملاحظه می گردد که در جریان خط هارمونیک سوم و مضارب آن وارد نمی شوند یعنی جمله دوم رابطه (I) به ازاء $n=3K$ صفر است. در شکل (۲)



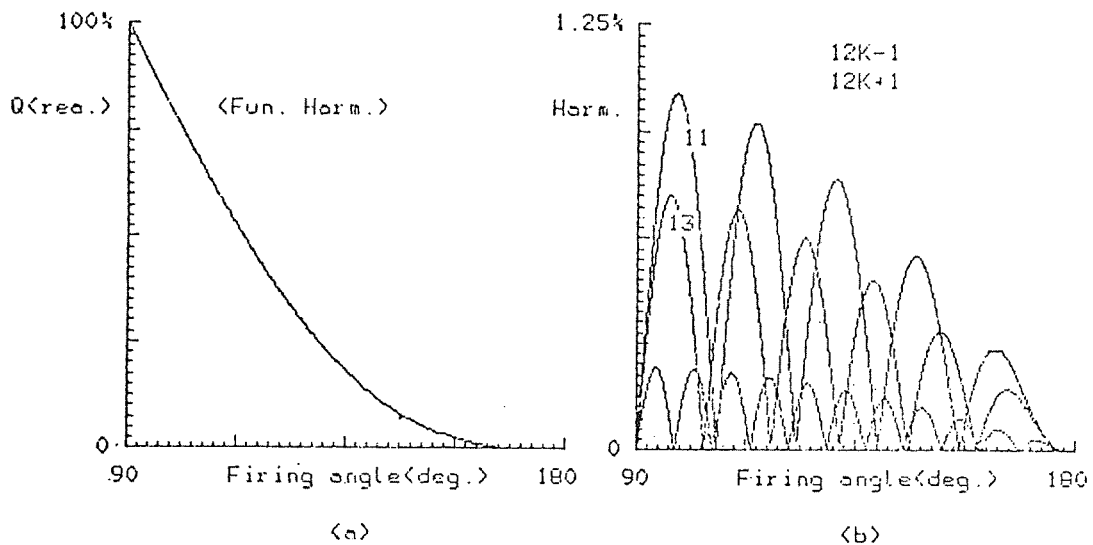
شکل ۲ - شکل موجهای جریان فاز و خط به ازاء زوایای آتش 90°, 100°, 130°, 150°



شکل ۳- تغییرات قدرت راکتیو تولید شده و درصد هارمونیک های جریان بر حسب زاویه آتش تریستور.

شبکه بزرگ ممکن است مقداری چشمگیر داشته باشد، لذا برای حذف و یا کاهش آنها باید تدابیر مناسب اتخاذ شود. علاقمندان در این مورد می توانند به مراجع شماره (9) و (10) مراجعه نمایند که در این مراجع نحوه کاهش هارمونیکها به روشهای مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

به کار گرفته شود و آنالیز ریاضی متناظر نیز در این مورد انجام پذیرد، نتایج گرافیکی متناظر مطابق شکل (۴) خواهد بود. براساس این شکل مرتبه هارمونیکهایی که به شبکه تغذیه منتقل می شوند به صورت $12K \pm 1$ بوده و بالاترین هارمونیک، هارمونیک یازدهم با مقدار $1/0.1$ درصد می باشد البته هرچند که دامنه هارمونیکها به درصد، پایین می باشد ولی برای یک



شکل ۴- تغییرات قدرت راکتیو تولید شده و درصد هارمونیک های جریان بر حسب زاویه آتش تریستور.

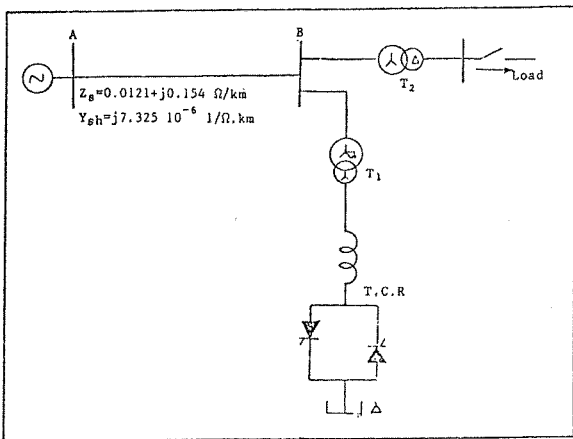
۳) مطالعه عملکرد سیستم T.C.R. در يك شبکه انتقال قدرت

در خطوط انتقال بلند اثر خازنی خط بیشتر از اثر سلفی آن است و از این رو در شرایط بی باری و یا بارهای کم ولتاژ طرف گیرنده بیشتر از ولتاژ طرف فرستنده است. در چنین شرایطی به کارگیری سیستم T.C.R. در انتهای خط برای تثبیت ولتاژ اجتناب ناپذیر است (10) و (7). لذا راکتورهای کنترل شونده ترستوری باید در بارهای سبک و یا در بی باری خط کارائی بهتری داشته باشند. در مقاله حاضر یک شبکه انتقال ۴۰۰ کیلو ولت به طول ۵۰۰ کیلومتری مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد. مطالعه پارامترهای شبکه از جمله ولتاژ طرف گیرنده در بارهای مختلف، قدرت راکتور مورد نیاز جهت تنظیم ولتاژ (رگلاسیون ولتاژ صفر)، ضریب قدرت انتهای خط با به کارگیری کمپانزاتور و بالاخره تعیین زاویه آتش ترستور از جمله مواردی هستند که در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است.

شبکه انتقال مطابق شکل (۶) و با مشخصات زیر در نظر بگیرد:

مشخصات ترانسفورمر T_1 :

$$X_T = 15\% \quad , \quad S = 350 \text{ MVA} \quad , \quad 400/24 \text{ KV}$$



شکل ۶ - يك شبکه انتقال انرژی به همراه يك سیستم T.C.R. سه فازه شش پالسه (۱۰).

اتصال سیستم T.C.R. به صورت مثلث می باشد.

پارامترهای چهارگانه خط انتقال مذکور برابر است با

اگر مطالعات روی هارمونیک اصلی انجام شود می توان در مورد قدرت راکتیو جذب شده توسط سیستم T.C.R. که تابعی از زاویه آتش ترستورها یا مدت زمان هدایت ترستورها می باشد چنین نوشت:

$$Q = 3V_e \cdot I_{Le} \sin\phi$$

$$V_A(T) = V_m \sin\omega t ; V_e = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$i_{LA}(t) = \sqrt{3} a_1 \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = 2a_1 \sin \frac{\pi}{3} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$= \frac{3V_m}{\pi L\omega} [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)] \sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

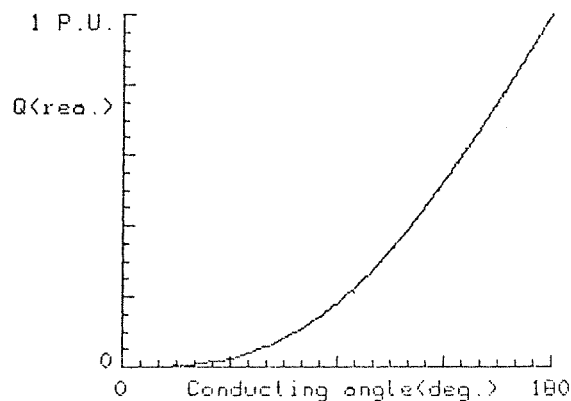
$$I_{Le} = \frac{3V_m}{\sqrt{2}\pi L\omega} [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)]$$

$$Q(\alpha) = \frac{9}{2} \cdot \frac{V_m^2}{L\omega} \left[\frac{\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)}{\pi} \right]$$

$$Q(\alpha) = \frac{3U^2}{L\omega} \left[\frac{\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)}{\pi} \right]$$

$$Q(\alpha) = [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)] / \pi \quad (\text{P.U.})$$

یعنی با تغییر زاویه آتش یا مدت زمان هدایت ترستورها قدرت راکتیو جذب شده توسط T.C.R. سه فازه شش پالسه مطابق شکل (۵) می باشد.



شکل ۵ - تغییرات قدرت راکتیو جذب شده توسط T.C.R. سه فازه شش پالسه برحسب طول زاویه هدایت ترستورها.

بارهای کمتر و یا ضریب قدرتهای بالاتر ولتاژ انتهای خط به بالاتر از 1.0 P.U. می رسد. حال برای تثبیت ولتاژ انتهای خط انتقال از مقدار 1.0 P.U.، مقدار قدرت راکتیوی که باید در انتهای خط جذب گردد، محاسبه می شود.
در شرایط بی باری جریان انتهای خط

$$I_R \approx 0.43 < -90^\circ \text{ KA}$$

$$Q = \sqrt{3} UI \sin\phi \approx 298 \text{ MVA}$$

در این صورت حداکثر ظرفیت راکتور مورد لزوم (هدایت کامل ترستورها) از رابطه زیر به دست می آید:

$$Q = 3 \frac{U^2}{\pi L \omega} [\sin 2\alpha + 2(\pi - \alpha)]$$

$$\alpha = 90$$

$$L = 18.47 \text{ mH}$$

(بدون احتساب راکتانس ترانسفورمر)

در صورتی که مقدار اندوکتانس ۱۰ mH انتخاب گردد، زاویه آتش ترستورها که از رابطه فوق به دست می آید برابر با $\alpha \approx 112^\circ$ خواهد شد.

اکنون برای تثبیت ولتاژ بارداری انتهای خط در مقدار 1.0 P.U.، مقدار قدرت راکتیوی که باید در انتهای خط انتقال جذب گردد مورد بررسی قرار می گیرد. نتایج مطابق

$$A = D = 0.86245 + j0.506875 = 0.8625 < 0.7^\circ$$

$$B = 73.66 < 85.745^\circ$$

$$C = 0.00349 < 90.235^\circ$$

اگر V_R مقدار مؤثر ولتاژ فاز طرف گیرنده و V_S مقدار مؤثر ولتاژ فاز طرف فرستنده خط انتقال باشد (۲).

$$\begin{pmatrix} V_R \\ I_R \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & -B \\ -C & D \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_S \\ I_S \end{pmatrix}$$

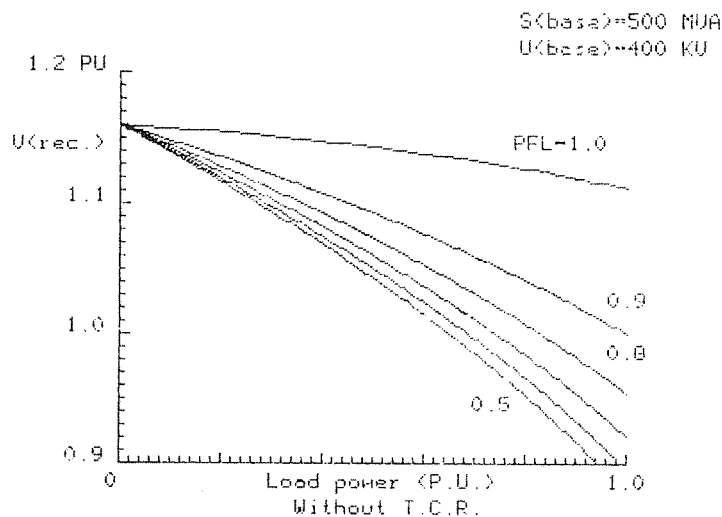
در شرایط بی باری شبکه ($I_R = 0$) و با توجه به ولتاژ ۴۰۰ KV ابتدای خط، ولتاژ انتهای خط چنین خواهد شد:

$$V_R = 463.84 \text{ KV}, \quad I_S = 0.9345 < 89.535^\circ \text{ KA}$$

به عبارت دیگر در اثر پدیده فرانتی حدود ۱۵/۷۵ درصد افزایش ولتاژ وجود دارد.

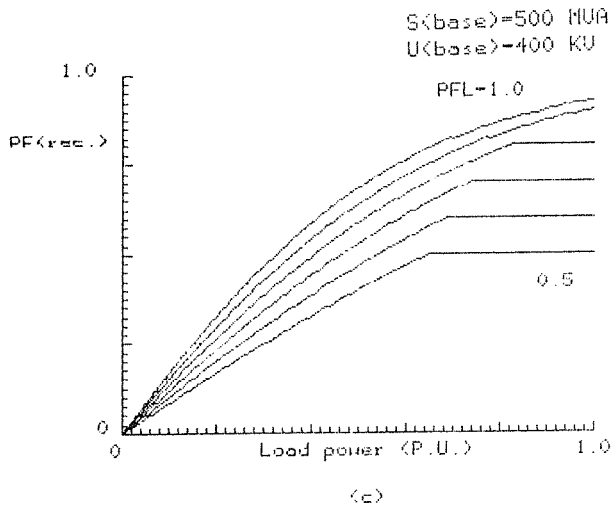
اگر خط انتقال فوق الذکر با شرایط مشابه در زیر بار مطالعه شود، تغییرات ولتاژ انتهای خط بر حسب قدرت انتقالی مطابق شکل (۷-ا) خواهد بود که نشان می دهد ضریب قدرت ابتدای خط انتقال در بارداری (ضریب قدرتهای حدود ۰/۷ به بالا) خازنی است.

مطابق این شکل ولتاژ انتهای خط در بارداری کامل با ضریب قدرت حدود ۰/۷ به مقدار 1.0 P.U. می رسد و در

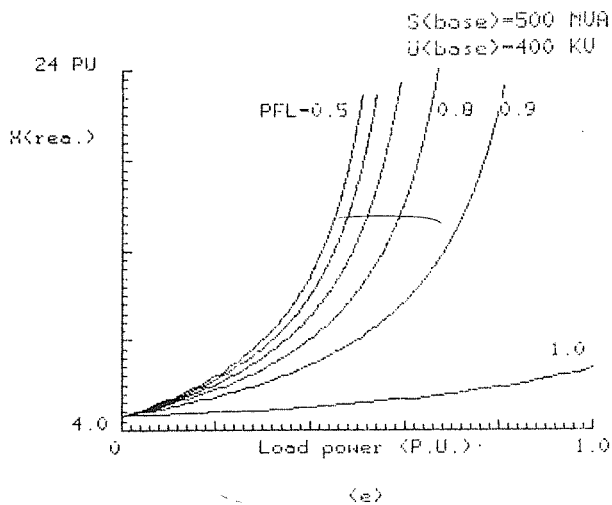


شکل (۷-ا) - تغییرات ولتاژ انتهای خط بر حسب قدرت انتقالی بدون بکارگیری T.C.R.

توسط T.C.R. امکان پذیر نیست. در شکل (۷-۵) مقدار راکتانس راکتور مورد نیاز برحسب مقدار بارداری خط نشان داده شده است. با به دست آمدن مقدار راکتانس راکتور می توان مطابق شکل (۷-۶) زاویه آتش تریستور را برحسب قدرت راکتور مورد نیاز تعیین کرد.

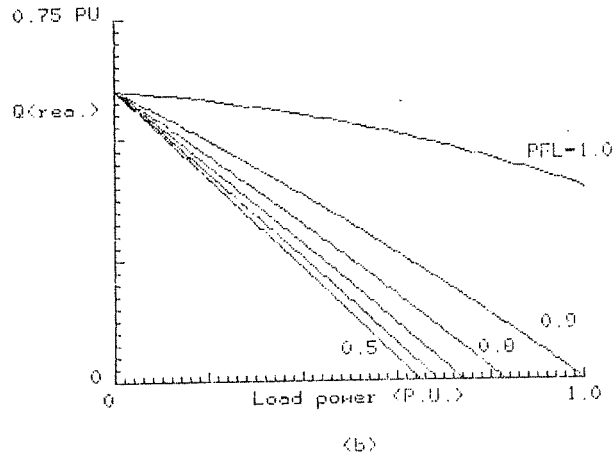


شکل (7-۵) = تغییرات ضریب قدرت انتهای خط برحسب تغییرات بار مصرفی.

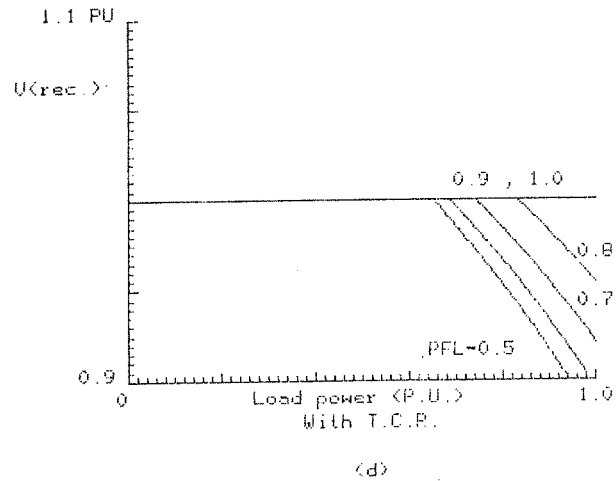


شکل (7-۶) = مقدار راکتانس راکتور مورد نیاز برحسب تغییرات بار مصرفی.

شکل (۷-ب) خواهد بود و در این شرایط ضریب قدرت انتهای خط دیگر با ضریب قدرت بار برابر نیست و مقدار آن از شکل (۷-۵) تعیین می شود. عموماً در خطوط انتقال در بی باری و بارهای کم، اثر سلفی خط در مقابل اثر خازنی آن ناچیز است (در بارهای زیاد برعکس)، لذا مطابق شکل (۷-د) بعد از یک حد بارداری دیگر تثبیت ولتاژ انتهای خط



شکل (7-ب) = تغییرات قدرت راکتور لازم برای تثبیت ولتاژ انتهای خط (I.P.U) برحسب تغییرات بار مصرفی.

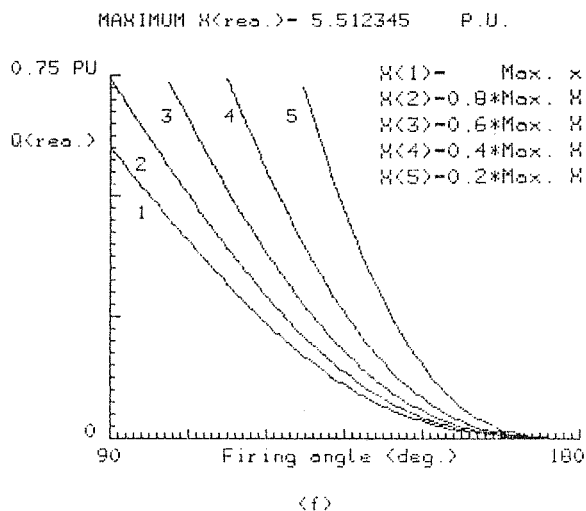


شکل (7-د) = تغییرات ولتاژ انتهای خط برحسب قدرت انتقالی با بکارگیری T.C.R.

خصیصه های مثبت، تولید هارمونیکهای جریان و رسوخ آنها به شبکه تغذیه اجتناب ناپذیر است. در قسمت اول این مقاله اصول کار یک سیستم T.C.R. مورد بررسی قرار گرفت، و اثر تغییر زاویه آتش ترستور روی مقدار هارمونیکهای جریان که وارد شبکه تغذیه می شوند، به صورت گرافیکی ارائه گردید. طبق نتایج حاصل دامنه بالاترین هارمونیک که برای یک سیستم شش پالسه و دوازده پالسه مربوط به هارمونیک پنجم و یازدهم می باشد به ترتیب برابر است با ۵/۰۵ درصد و ۱/۰۵ درصد.

قسمت دوم این مقاله که به کارگیری یک سیستم T.C.R. را در یک شبکه انتقال مورد بررسی قرار داده است، دقیقاً گویای این مطلب است که برای تثبیت ولتاژ در شرایط بی باری و بارهای کم شبکه باید سیستم T.C.R. کارآیی خوبی داشته باشد نتایج گرافیکی نشان می دهد که بهترین مقدار اندوکتانس راکتور به ازاء زاویه آتش 60° و در شرایط بی باری خط تعیین می شود. با بارگذاری خط انتقال مدت زمان هدایت ترستورها باید کاسته شود. البته بهترین مقدار اندوکتانس برحسب کمترین هارمونیک تولید شده ممکن تعیین می گردد.

توجه کنید که یک سیستم T.C.R. باید به ازای بارهای کافی شبکه نیز کارآیی لازم را داشته باشد که در این شرایط موجب پیوستگی منظم کار کمپانزاتور می گردد.



شکل (f-7) = قدرت راکتور تولید شده توسط T.C.R. برحسب زاویه آتش ترستور.

(۴) نتیجه گیری

به کارگیری کمپانزاتورهای استاتیکی کنترل شونده ترستوری هم از نظر اصلاح ضریب توان و یا تنظیم و تثبیت ولتاژ و هم از لحاظ افزایش حد پایداری گذرا و یا افزایش زمان بحرانی رفع عیب و ... امروزه توجه مهندسین قدرت را به خود معطوف داشته است، البته در جوار این همه

(۵) منابع:

1. T.J.E. MILLER
Reactive power control in Electric systems.
JOHN WILEY & SONS, 1982.
2. WILLIAM D. STEVENSON
Elements of power system analysis.
McGraw Hill Inc., 1982.
3. W. SHEPHERD, P. ZAND
Energy flow and power in nonsinusoidal circuits.
Cambridge University press, 1979.
4. IFAC
Control in power electronics and electric drives.
Pergamon press, 1978, Edited by W. LEONHARD.
Pergamon press, 1984, Edited by R. ZWICKY.
5. International conference on
Thyristor and Variable static equipment for AC and DC Transmission.
30 Nov.-3 Dec. IEE, 1981.
6. L. Gyugyi, R. Edgar, JR. Taylor
Characteristics of static thyristor controlled shunt compensators for power transmission system application.
7. S. Torseng
Shunt connected reactors and capacitors controlled by thyristors. IEE, Proc. Gen., Trans., & Distrib. Vol. 128, No. 6, 1981, PP 366-373.
8. N. H Malik, W. Shepherd
Operation of a fixed capacitor thyristor controlled reactor (FC-TCR) power factor compensator.
IEEE, Trans., Pas, Vol. 104, 1985, PP. 1385-1390.
9. کاهش هارمونیکها در راکتورهای کنترل شده ترستوری به روش تغییر متوالی پله های ترانسفورمر راکتور، سید حسین حسینی - غلامرضا ذاکر، سومین کنفرانس شبکه سراسری برق، تهران - ۱۳۶۷.
10. کمپانزاتورهای استاتیکی کنترل شونده ترستوری - هارمونیکهای نامشخص و کاهش کل هارمونیکهای تولید شده از جانب این کمپانزاتورها. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد. غلامرضا ذاکر - دانشکده فنی - دانشگاه تبریز - ۱۳۶۸.