معرفی یک ابزار جدید بنام "ipfc " بعنوان راهکاری برای اجرای تکنیک "جابجائی بار" (load shiftting) بین دو یا چند منطقه و اصلاح شکل منحنی بارفرا منطقه ای در بهره برداری از سیستمهای قدرت

جواد پورحسین دانشجوی **P.H.D**

واحد علوم و تحقیقات و عضو هیئت

علمی واحد گناباد

دکتر محمد هادی ورهرام

عضو هیئت علمی دانشگاه

صنعتی شریف

E.mail:jpoorhosien @yahoo.com

چکیده: هدف، طرح این ایده است که "**ipfc**" بعنوان یک کنترل کننده مدرن **facts** ، میتواند بطور همزمان،عمل جابجائی بار ،بترتیب از ناحیه یا نواحی شامل " دره " به ناحیه یا نواحی شامل " پیک " را مستقلا" انجام دهد، نکته مهم انست که مقدار بار جابجا شده ، بطور پیوسته و با سرعت بالائی ، قابل کنترل است ، این میرساند که " **ipfc** " میتواند درکنار تامین هدف بالا، پایداری دینامیکی و ولتاژ را بهبود داده و بعلاوه ، به دلیل جبران سازی هریک ازخطوط ، ظرفیت انها را نیز افزایش دهد.

کلمات کلیدی : جابجائی بار، **ipfc** ، مدیریت بار **vsc** ، مدیریت بار **ipfc**

- مقدمه:

اولین بار ، در ژولیئه 1998، مفهوم یک کنترل کننده جدید بنام " ipfc " (inter line power flow controller) توسط جی جی معرفی شد. در تحقیق مذکور، عنوان شده بود که ipfc میتواند با انتقال بار از خطوط پر بار به خطوط کم بار ، بار خطوط خروجی از یک پست را بهینه سازی کند. یک سال بعد، اصول عملکرد همراه با ذکر جزئیات ، طرح کنترلی و نتایج شبیه سازی که به کمک نرم افزار EMTP انجام شده بود ، توسط جی جی عرضه شد[ ]. از ان پس ، تحقیقات متعددی از ipfc گزارش شده است که یکی از مهمترین انها ، نصب کنترل کننده قابل تبدیل csc (convertible static controller) در پست کیلو ولت مارسی توسط سرپرستان برق نیویورگ (NYPA) بود[و].این کنترل کننده ، که فاز اول ان در فرم "upfc " به منظور حفظ ولتاژ مارسی در سال ۰۰ عملیاتی شده بود ، دارای ارایش مختلف بود که از ان جمله ipfc بود.در این تحقیق و سایر تحقیقات گزارش شده ، قابلیتهای زیاد دیگری از ipfc نظیر بهبود پایداری ولتاژ ، افزایش پایداری دینامیکی و گذرا نیز به حیطه ظهور رسید[و و] و از ان پس ، بعنوان یکی از با استعدادترین و مدرنترین " ادوات facts " جلوه گر شد.

- جابجائی بار :

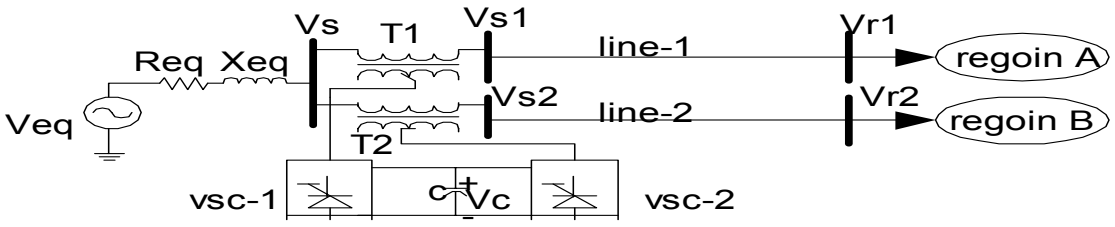
شکی نیست که اصلاح و بهینه سازی "منحنی بار " در سطوح منطقه ای و فرا منطقه ای از یک طرف ، سبب افزایش ضریب بار ، بازده و امنیت سیستم و از طرف دیگر ، سبب کاهش سرمایه گذاری جدید ، افزایش ظرفیت تولید ناشی از بهبود شکل منحنی بار ، انجام اقتصادی تر پخش بار و کاهش هزینه های سرویس دهی به مشترکان میگردد. در این راستا ، یکی از روشهای بهبود شکل منحنی بار ، تکنیک جابجائی بار در سطح یک منطقه میباشد، که در این ارتباط ، راهکارهای اجرائی متعددی از قبیل اعمال خاموشی ، ذخیره سازی گرما و سرما وجود دارد اما ، هدف این مقاله ، معرفی یک ابزار مدرن با قابلیت های مطلوب فراوان بنام " ipfc " است که میتوان از ان برای " جابجائی بار " بین دو یا چند ناحیه بهره گرفت . در اینجا ، فرض میشود دو یا چند ناحیه ای که عمل تبادل بار بین انها ، قرار است که از طریق ipfc انجام گیرد ، همگی توسط خطوط مختلف خروجی از یک پست تغذیه شوند. البته ، این به ان معنی نیست که راههای متفاوت و متعدد موجود که امکان تغذیه از طریق انها وجود دارد ، را کنار بگذاریم . فرض مستتر دیگری که ضروری بنظر میرسد ، انست که " الگوهای بار " نواحی تبادل کننده توان ، مشابه نباشد . فرض اخیر که چندان هم دور از واقعیت نیست به ما اجازه میدهد که بتوانیم بطور همزمان از ناحیه یا نواحی که بار اضافه دارند(در شرایط دره اند) به ناحیه یا نواحی که کمبود بار دارند (در

شرایط پیک اند) توسط ipfc ، بار جابجا کنیم . شرایطی که این انتقال بار را با انتقال از طریق خطوط معمولی متمایز می کند عبارتند از :

- مقدار بار مبادله ، بطور پیوسته و انی قابل کنترل است.
- سرعت کنترل بالاست (سرعت بالا جز خواص ذاتی المانهای الکترونیک قدرت است)
- عبور توان راکتیو در هر خط قابل کنترل است (تلفات را کاهش میدهد)
- عبور توان اکتیو در هر خط قابل کنترل است (پایداری دینامیکی و ولتاژ را بهبود می بخشد)
- ظرفیت انتقال هر خط افزایش می یابد (چون خط توسط ipfc جبران میگردد)

(inter line power flow controller) ipfc -

در دیاگرام تک خطی شکل- ، یک سیستم انتقال ساده دو خطی که از یک پست با پارامتر های معادل V_{eq} R_{eq} و X_{eq} تغذیه شده و بارهای متفاوتی را به نواحی A و B انتقال می دهد ، نشان داده شده است .



شکل- ۱

در این شکل ، ipfc ، شامل ارایشی از دو کنورتر منبع ولتاژ (vsc) است که در ترمینالهای DC از طریق یک خازن مشترک C به هم پارالل شده اند ، بعلاوه ، هر یک از انها ، بطور مجزا از طریق یک ترانس سری در سمت AC به خط انتقال جداگانه ای متصل شده اند . هر کنورتر ، یک ولتاژ سینوسی با فازوری که میتوان ان را بصورت $V_{pqi}e^{j\rho i}$ نشان داد (و i =) ، به خط متناظرش تزریق می کند . مقادیر ρi و V_{pqi} از طریق مدار فرمان کنورترها ، در محدوده زیر ، میتوانند کنترل شوند :

$$V_{pqi_{\max}} \geq V_{pqi} \geq \qquad\qquad \leq \rho_i \leq \qquad ^{\circ} \qquad (1)$$

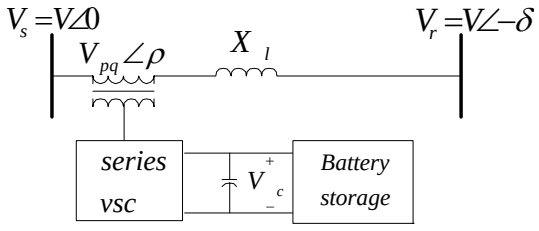
ρ نسبت به فازور ولتاژ V_s ، سنجیده میشود . همینطور ، فرض سینوسی بودن ولتاژ های تزریقی در صورتی معتبر است که ولتاژ خازن مقدار ثابتی باشد. اتصال پشت به پشت (back to back) دو کنورتر در نقطه اتصال به خازن ، بخاطر انست که توان اکتیو بتواند بین دو کنورتر مبادله شود . در این وضعیت ، میتوان از طریق ثابت نگه داشتن ولتاژ خازن ، توان قابل کنترلی بین انها مبادله کرد . بعلاوه ، ولتاژ درترمینال خازن نیز میتواند ، از طریق بالانس توان اکتیو بین کنورترها ، در مقدار ثابتی نگه داشته شود.در چنین حالتی ، معادله دینامیک ولتاژ خازن ، بصورت زیر قابل بیان است :

$$\frac{cdV_c}{dt}.V_c = P_{ex1} + P_{ex2} = \quad (2) \qquad (\ )$$

در حالیکه ، اگر اتصال پارالل کنورترها از هم باز شود ، هر کنورتر بطور مستقلی ، فقط قادر است ، مبادله توان راکتیو با خط خودش انجام دهد که نتیجتا ، صرف جبران راکتیو هر خط را در پی خواهد داشت . نکته مهم دیگری که در اینجا ، قابل توجه است ، این است که نامعادلات ( ) برای هر VSC ، یک ناحیه کنترل دایره ای پدید می اورد که مرکز ان در انتهای فازور V_s واقع است و شعاع ان مساوی $V_{pqi_{\max}}$ میباشد .

- مدیریت بار VSC

دیاگرام تک خطی شکل- ، گرچه دارای یک VSC است ، اما در فهم روابط ipfc کمک بهتری به ما خواهد کرد.



شکل-

همانطور که قبلا بیان شد ، وقتی ولتاژ لینک DC ثابت نگه داشته شود ، VSC را میتوان بصورت یک منبع ولتاژی که دامنه و زاویه فاز ان قابل کنترل است و فرکانس اصلی سیستم قدرت را دارد ، در نظر گرفت . بر این اساس ، بدون لحاظ اثر مقاومت خط ، عبور توان در ترمینال دریافت بصورت زیر خواهد بود :

$$P_r = \frac{V^2}{X}.\sin\delta + \frac{V.V_{pq}}{X}.\sin(\delta+\rho)$$
$$Q_r = \frac{V^2}{X}(\cos\delta - 1) + \frac{V.V_{pq}}{X}\cos(\delta+\rho) \qquad (\ )$$

با فرض ثابت بودن باسها ، بلافاصله میتوان از معادلات ( ) نتیجه گرفت که :

$$P_r \propto V_{pq}.\sin(\delta+\rho)$$
$$Q_r \propto V_{pq}.\cos(\delta+\rho) \qquad (\ )$$

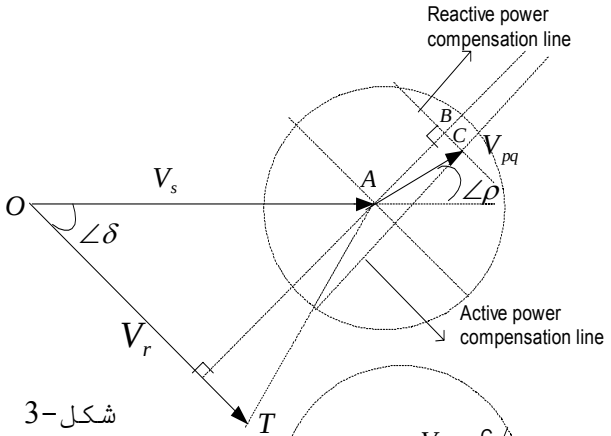
روابط ( ) نشان میدهند که میتوان با تنظیم مناسب ولتاژ تزریق شده ، بطور انعطاف پذیری عبور توان در خط را کنترل کرد ، بعلاوه ، عبور جریان خط از داخل VSC ، سبب مبادله مقدار معینی از توان اکتیو بین خط و لینک DC خواهد شد که میتواند توسط رابطه زیر بیان شود :

$$P_{ex} = \frac{2.V\sin(\frac{\delta}{2})}{X}.V_{pq}\cos(\frac{\delta}{2}+\rho) \qquad (\ )$$

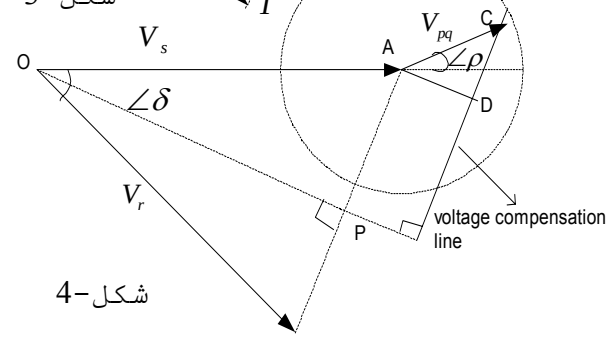
از رابطه ( ) میتوان نتیجه گرفت که :

$$P_{ex} \propto V_{pq}.\cos(\frac{\delta}{2}+\rho) \qquad (\ )$$

روابط ( ) و ( ) سه خط کنترلی مجزا در ناحیه کنترل برای ما تعریف می کنند بگونیکه وقتی روی یکی از انها در ناحیه کنترل حرکت می کنیم ، فقط توان اکتیو خط یا توان راکتیو خط و یا توان مبادله شده تغییر خواهد کرد ، این خطوط ، با نامهای مناسبی و بطور روشن تری در اشکال و تعریف شده اند.



شکل-3



شکل-4

در شکل- ، پاره خطهای AB و BC ، بترتیب متناظر با ترمهای اول و دوم روابط ( ) هستند . بنابراین ، اگر بخواهیم فقط توان اکتیو در ترمینال دریافت خط را تغییر دهیم ، بایستی بگونه ای در دایره حرکت کنیم که پاره خط BC ، ثابت و پاره خط AB فقط تغییر کند و این ، یعنی اینکه روی یک خط جبران اکتیو باید حرکت کنیم، بطور مشابهی، اگر بخواهیم فقط توان راکتیو را تغییر دهیم باید روی یک خط جبران راکتیو حرکت کنم . همچنین ، در شکل- پاره خط AD ، متناظر با معادله ( ) است . لذا ، اگر روی خط جبران ولتاژ حرکت کنیم ، مقدار توان مبادله ثابت خواهد بود . یک طرح کنترلی برای کنترل **کننده VSC شکل- ، اگر کنترل کننده PI استفاده شود ، بصورت زیر ، مبتنی بر مولفه های ولتاژ تزریقی VSC ، روی محورهای "d" و "q" است .**

$$V_{pqd} = (K_P + \frac{K_I}{s}).(Q_{rd} - Q_r) \qquad ( )$$

$$V_{pqq} = (K_p + \frac{K_I}{s}).(P_{rd} - P_r)$$

در این روابط ، P_{rd} و Q_{rd} بترتیب ، توانهای اکتیو و راکتیو مطلوب میباشند ، همینطور ، محورهای d و q بترتیب ، خطوط موازی با خط OT و عمود بر بر ان بوده که از مرکز دایره کنترلی شکل- گذشته اند و بعلاوه ، ان را به چهار ناحیه تقسیم کرده اند .

- مدیریت بار ipfc

با مقدمه ای که اخیرا در ارتباط با یک VSC بیان شد ، میتوان ، بحث مبادله توان اکتیو بین دو خط از طریق لینک dc و همینطور ، کنترل توان در خطوط شکل- را مجددا پی گرفت . بدون از دست دادن هیچ کلیتی ، خط- ، بعنوان " خط اولیه " فرض میشود ، نتیجتا ، دو درجه ازادی کنترل برای ان وجود دارد و ان یعنی اینکه عبور توان در خط- (P_{r1} و Q_{r1}) ، در محدوده ظرفیتش ، با تنظیم ولتاژ تزریقی - VSC ، میتواند کنترل شود . در این صورت ، برای خط- ، فقط یک درجه ازدی کنترل باقی می ماند و این ، یعنی اینکه یا توان اکتیو و یا راکتیوش ، می تواند به اختیار کنترل شود ، چرا که ولتاژ تزریقی - VSC باید بگونه ای تنظیم شود تا تقاضای توان اکتیو خط- را با نگه داشتن ولتاژ لینک dc ، فراهم کند. معادله اساسی حاکم بر بالانس توان مبادله شده که بنوعی دیگر ، نشانگر دینامیک ولتاژ خازن نیز هست ، بصورت زیر داده میشود :

$$c\frac{dV_c}{dt}.V_c = P_{ex1} + P_{ex2} = 0 \qquad (\ )$$

معادله ( ) بوضوح نشان میدهد که اگر قدر مطلق توانهای مبادله دو VSC باهم برابر باشند در حالیکه یکی دهنده به خط متناظرش و دیگری گیرنده از خط متناظرش باشد ، تغییرات ولتاژ خازن در حالت پایدار صفر شده و مقدار ولتاژ خازن در سطح معینی حفظ خواهد شد . همانطور که در بحثهای پشین بیان شد برای انکه توان مبادله یک VSC مقدار ثابتی باشد ، باید روی خط جبران ولتاژ خاصی حرکت کند ، بر این اساس ، نتیجه میگیریم که دو VSC باید در دایره کنترل شکل- ، همواره ، خطوط جبران ولتاژ معادلی داشته باشند . از انجا که توان مبادله دریکی از VSC ها همواره منفی و در دیگری مثبت است ، پس نقطه کار یکی ، همواره در نیمه بالای محور d و ازدیگری در نیمه پایین قرار خواهد گرفت . با معلوم بودن توانهای مطلوب "خط اولیه " براحتی میتوان نقاط کار هر دو VSC را در دایره کنترل مشخص کرد .

- نتیجه گیری

یک ابزار مدرن مبتنی بر الکترونیک قدرت که دارای قابلیتهای مطلوب فراوانی است به منظور " جابجائی بار " بین دو یا چند ناحیه ای که الگوی مصرف نامتشابهی دارند ، معرفی شده است . بهره گیری از این ابزار ، برای تسطیح شکل منحنی بار فرا منطقه ای ، از یک طرف مانع از صرف هزینه های هنگفت برای تامین پیک بار و از طرف دیگر سبب افزایش امنیت سیتم می شود . بعلاوه ، بدون هیچ گونه ، تغییری در سخت افزار مسئله ، میتوان از ان به منظورهای مختلفی نظیر ، بهبود پایداری ولتاژ ، بهبود پایداری حالت گذرا ، جبران سازی سری استاتیک خطوط متناظر ، بالا بردن سطح میرائی نوسانات و ...استفاده کرد . از ویژگیهای بارز این کنترل کننده ، سرعت بالای انست که میتواند در شرایطی همچون اتصال کوتاه ، پایداری شبکه را بهبود بخشد .

- مراجع :

1 L.Gyugyi, K.K.Sen, C.D.Schauder, "The Interline Power Flow Controller Concept: A New Approach to Power Flow Management in Transmission Systems", IEEE/PES Summer Meeting, Paper No. PE-316-PWRD-0-07-1998, San Diego, July 1998

2 L.Gyugyi, K.K.Sen, C.D.Schauder, "The Interline Power Flow Controller Concept: A New Approach to Power Flow Management in Transmission Systems", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 14, No. 3, pp.1115 1123, July 1999.

3 E. Uzunovic, B. Fardanesh, S. Zelingher, S. MacDonald, and C. Schauder, "Interline power flow controller (IPFC) as part of the

4 S. Arabi, H. Hamadanizadeh, and B. B. Fardanesh, Convertible static compensator performance studies on the NY state transmission system, *IEEE Trans. on Power Systems*, vol.17, pp. 701-706, 2002.

5 S. Arabi, H. Hamadanizadeh, and B. Fardanesh, "Covertible static compensator performance studies on the NY state transmission system," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, pp. 24_31, July 2002.

6 S. Mishra , P. K. Dash , P.K. Hota , and M. Tripathy " genetically optimized neure _ fuzzy ipfc for damping modal oscillations of power system" , ieee transactions on power systems , vol . 17 , no. 4 ,November 2002

7 Jianhong Chen , Tjing T.Lie , D.M . Vilathgamuwa."design of an interline power flow controller". 14 th psoc , sevilla , 24-28 june 2002 , session 18 , paper 5 , page 1

8 Xuan wei , Joe H. Chow , Behruz Fardanesh , and Abdel _ Aty Edris , Senior Meber , IEEE "Acommon modeling framework of voltage _ sourced converters for load flow, Sensitivity, and dispatch analysis . IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS , VOL. 19 , NO. 2 , MAY 2004