بسم الله الرحمن الرحيم

١٨٧٦٠٢

دانشگاه ارومیه

استفاده از DSSC برای متعادل سازی شبکه و کاربرد DSSC به همراه دیگر ادوات FACTS

مقصود مختاری

دانشکده فنی

گروه برق

1389

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی‌ارشد

استاد راهنما: دکتر داریوش نظرپور

استاد مشاور: دکتر بهروز طوسی

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران
IRANDOC
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

۱۵۷۶۰۳

۴ /۳/ ۳۳۹۰

پایان نامه خانم/آقای ... به تاریخ ۹۶/۱۱/۱۹ ...
شماره ..... مورد پذیرش هیات محترم داوران با رتبه عالی
و نمره ۲۰ ... قرار گرفت.

۱ - استاد راهنما و رئیس هیئت داوران : دکتر ...

۲ - داور خارجي : آقای دکتر ... ایران

۳ - داور داخلي : آقای دکتر ...

٤ - نماینده تحصیلات تکمیلي : آقای دکتر ...

حق چاپ و نشر برای دانشگاه ارومیه محفوظ می باشد.

تقدیم به مادر مرحومم

پدرم

خواهرم

و

برادرانم

لازم می دانم از جناب آقای دکتر نظرپور که در دوران کارشناسی ارشد همواره نهایت لطف را در حق اینجانب داشته اند تشکر و قدردانی نمایم.

چکیده

با گسترش روز افزون سیستم های قدرت به هم پیوسته، ادوات FACTS به طور گسترده ای به عنوان ادوات کنترل کننده توان مورد استفاده قرار می گیرند. اما از طرفی دیگر در استفاده از این ادوات به دو مشکل اساسی برخورد می کنیم. یکی هزینه زیاد نصب و نگهداری این ادوات می باشد و دیگر این که هنگامی که چند ادوات FACTS با هم در سیستم مورد استفاده قرار می گیرند، کنترل کننده های این ادوات می توانند به طور مخالف با هم کنش داشته باشند و باعث تخریب عملکرد همدیگر شوند. با توجه به مشکل اول، در این رساله یک راه کار جدید و اقتصادی و مطمعن برای کنترل شارش توان در خطوط ارائه می گردد که این راه کار استفاده از ادوات FACTS توزیع شده یا D-FACTS می باشد جبران ساز استاتیکی سنکرون توزیع شده(DSSC[1]) که یکی از ادوات D-FACTS می باشد معرفی میشود و قابلیتهای این وسیله در کنترل توان و بهبود پایداری گذرا نیز به طور کامل مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه به بررسی در هم کنش بین کنترل کننده های DSSC و ادوات FACTS پرداخته می شود.

در قسمت دوم پایان نامه به بررسی بارهای نا متعادل در سیستم و طراحی جبران ساز های استاتیکی جهت متعادل سازی این بارها پرداخته شده است. مشکل اساسی فرمولاسیونی که برای به دست آوردن مقادیر جبران سازهای توان راکتیو در کتابهای مرجع بیان شده، این است که این فرمولاسیون فقط برای بار های پسیو صادق است و برای طراحی جبران ساز برای سیستم های نا متعادلی که دارای بارهای اکتیو مانند موتور القایی میباشد، نمیتوانند مورد استفاده قرار گیرند. لذا در این رساله الگوریتمی برای متعادل سازی بار های نا متعادل توسط جبران ساز استاتیکی سنکرون ارائه می گرد که می تواند هم برای بارهای پسیو و هم برای بارهای اکتیو مورد استفاده قرار گیرد.

[1] Distributed Static Series Compensator

«فهرست مطالب»

عنوان	صفحه
مقدمه	1
فصل 1: ادوات FACTS و D-FACTS	
1-1 معرفی ادوات FACTS	3
1-1-1 فرصت های فرآوری FACTS	5
1-1-2 اهداف FACTS	6
1-1-3 محدودیت های باربری و انتقال توان خطوط انتقال	6
1-1-3-1 محدودیت حرارتی	7
1-1-3-2 محدودیت های عایقی	8
1-1-3-3 محدودیت های پایداری	8
1-1-4 معرفی STATCOM	8
1-2 جبرانساز استاتیک سری توزیع شده DSSC	13
1-2-1 کارکرد و ساختمان داخلی DSSC	14
1-2-2 ترانسفورماتور تکدور	16
1-2-3 مدل حرارتی تلفات درDSSC	17
1-2-4 مزایای استفاده از DSSC ها در سیستم قدرت	18
1-2-5 کاربرد DSSC در سیستم قدرت	19
1-3 مقایسه اقتصادی استفاده ازDSSC بجای SSSC	19
1-4 نتیجه گیری	20
فصل 2: میراسازی نوسانات سیستم قدرت به وسیله ادوات FACTS و D-FACTS	
2-1 سیتم تک ماشینه متصل به باس بی نهایت	21
2-1-1 بررسی تاثیر DSSC در کنترل توان عبوری از خطوط	22
2-1-2 بررسی تاثیر DSSC در میراسازی نوسانات فرکانس پایین (LFO)	23

2-2 سیستم چهار ماشینه دو ناحیه ای 29
2-2-1 بررسی تاثیر DSSC در کنترل توان عبوری از خطوط در سیستم چهار ماشینه 30
2-2-2 بررسی تاثیر DSSC در میراسازی نوسانات فرکانس پایین (LFO) 31
2-3 نتیجه گیری 36

فصل 3: اینتراکشن بین کنترل کننده های ادوات FACTS و D-FACTS در سیستم قدرت

3-1 اثر متقابل کنترل کننده ها 37
3-1-1 اثرات متقابل در حالت ماندگار 38
3-1-2 اثرات متقابل و کنش های مربوط به نوسانات الکترومکانیکی 38
3-3-3 کنترل یا نوسانات سیگنال کوچک 38
3-2 بررسی درهم کنش کنترل کننده های STATCOM 40
3-2-1 کنترل کننده ولتاژ AC 40
3-2-2 کنترل کننده باس DC 41
3-2-3 بررسی اثر کنترل کننده ولتاژ DC بر عملکرد کنترل کننده AC 42
3-2-4 بررسی اثر کنترل کننده ولتاژDC و AC بر عملکرد کنترل کننده میراساز 42
3-2-5 بررسی اثر کنترل کننده ولتاژ DC بر روی کنترل کننده میراساز 42
3-2-6 بررسی اثر کنترل کننده ولتاژ AC بر روی کنترل کننده میراساز 42
3-3 بررسی درهم کنش کنترل کننده های STATCOM و DSSC 45
3-3-1 کنترل کننده ولتاژ AC 46
3-3-2 کنترل کننده باس DC 47
3-3-3 کنترل کننده ولتاژ باس DC در DSSC 47
3-3-4 استفاده از STATCOM و DSSC جهت میراسازی نوسانات سیستم قدرت 47
3-3-5 بررسی درهم کنش کنترل کننده های STATCOM و DSSC بر همدیگر 49
3-3-5-1 اثرات متقابل در حالت ماندگار قدرت 49
3-3-5-2 بررسی اثر کنترل کننده ولتاژ DC بر عملکرد کنترل کننده AC 50
3-4 بررسی اثر کنترل کننده ولتاژDC در DSSC بر عملکرد کنترل کننده میراساز 51
3-4-1 بررسی اثر کنترل کننده ولتاژ DC المان های DSSC بر روی کنترل کننده های 52
3-5 نتیجه گیری 53

فصل 4: متعادل سازی شبکه به وسیله جبران ساز استاتیکی سنکرون

4-1 رابطه بین توان های اکتیو و راکتیو تحویلی توسط هر فاز به یک بار سه فاز سه سیمه 55
4-2 توان راکتیو تحویلی به یک بار سه سیمه کاملاً راکتیو با اتصال مثلث 57
4-3 جبران ساز راکتانسی 58
4-4 الگوریتم های دیگر 60
4-5 جریان های جبران ساز 63
4-6 جبران ساز برای بارهای سه فاز چهار سیمه 63
4-7 ولتاژ بار 67
4-8 استفاده از جبران ساز استاتیکی سنکرون برای متعادل نمودن بار و جبران سازی توان راکتیو 67
4-8-1 مثال بررسی و شبیه سازی شده 68
4-8-2 جریان ها و توان های راکتیو و اکتیو سیستم سه فاز بدون وجود جبران ساز 69
4-8-3 شکل موج های مربوط به جریان و توان های راکتیو و اکتیو با اتصال نمودن جبران ساز راکتانسی 70
4-8-4 شکل موج های سیستم با وجود جبران ساز اینورتری 71
4-9 نتیجه گیری 77

فصل 5: پیشنهادات و نتیجه گیری 78

مراجع 80

فهرست اشکال

شکل 1-1	9
شکل 1-2	10
شکل 1-3-الف	11
شکل 1-3-ب	11
شکل 1-4	12
شکل 1-5	13
شکل 1-6	13
شکل 1-7	14
شکل 1-8	14
شکل 1-9	16
شکل 1-10	16
شکل 1-11	17
شکل 2-1	22
شکل 2-2	22
شکل 2-3	23
شکل 2-4	23
شکل 2-5	24
شکل 2-6	24
شکل 2-7	25
شکل 2-8	25
شکل 2-9	26
شکل 2-10	26
شکل 2-11	27
شکل 2-12	27

شکل 2-13 28

شکل 2-14 28

شکل 2-15 29

شکل 2-16 30

شکل 2-17 31

شکل 2-18 32

شکل 2-19 32

شکل 2-20 33

شکل 2-21 34

شکل 2-22 34

شکل 2-23 35

شکل 3-1 40

شکل 3-2 40

شکل 3-3 41

شکل 3-4 41

شکل 3-5 42

شکل 3-6 43

شکل 3-7 44

شکل 3-8 45

شکل 3-9 46

شکل 3-10 46

شکل 3-11 47

شکل 3-12 47

شکل 3-13 48

شکل 3-14 49

شکل 3-15 50

شکل 3-16 50

شکل 3-17 51

شکل 3-18 52

شکل 3-19 52

شکل 4-1 55

شکل 4-2 57

شکل 4-3 58

شکل 4-4 60

شکل 4-5 60

شکل 4-6 63

شکل 4-7 64

شکل 4-8 65

شکل 4-9 66

شکل 4-10 68

شکل 4-11 69

شکل 4-12 69

شکل 4-13 69

شکل 4-14 70

شکل 4-15 70

شکل 4-16 71

شکل 4-17 71

شکل 4-18 71

شکل 4-19 72

شکل 4-20 72

شکل 4-21 73

شکل 4-22 73

شکل 4-23 74

شکل 4-24 74

شکل 4-25 75

شکل 4-26 75

شکل 4-27 75

شکل 4-28 76

شکل 4-29 76

فهرست جدول‌ها

جدول 2-1 31

جدول 1-4 67

جدول 4-2 68

مقدمه

این رساله شامل دو قسمت اصلی می باشد. بخش اول مربوط به استفاده از ادوات FACTS[1] و D-FACTS[2] با هم در سیستم قدرت برای بهبود پایداری گذرا و بخش دوم مربوط به استفاده از جبران ساز استاتیکی سنکرون برای متعادل سازی شبکه می باشد. توضیح مبسوطی در این راستا برای هر بخش فراهم آورده شده است.

با توسعه روز افزون صنعت الکترونیک قدرت، سیستم های انتقال AC[3] انعطاف پذیر (FACTS) در سیستم های قدرت معرفی و مورد استفاده قرار گرفته اند. ادوات FACTS در سیستم قدرت به عنوان ادوات کنترل کننده توان و ولتاژ و سایر پارامتر های سیستم، مورد استفاده قرار می گیرند [2]-[1]. همچنین بهبود پایداری گذرا در سیستم قدرت یکی از وظایف جانبی این ادوات می باشد که تاکنون مقالات و تحقیقات فراوانی در این زمینه منتشر شده است [11]-[3]. اما امروزه موانع مهمی برای استفاده تجاری گسترده از ادوات FACTS وجود دارد که مهمترین آن هزینه بالای نصب و نگهداری این ادوات می باشد[12]. با توجه به این محدودیت ها یک راه کار جدید، اقتصادی و مطمئن برای کنترل شاررش توان در خطوط استفاده از جبران گر استاتیکی سری توزیع شده (DSSC[4])می باشد [13]-[12]. DSSC را می توان به نوعی یک جبران ساز FACTS سری در نظر گرفت که در توان و حجم کوچک ساخته می شود و می توان تعداد زیادی از آن را به منظور کنترل شارش توان در خطوط انتقال توزیع نمود. لذا یکی از اهداف اصلی این پایان نامه استفاده از این وسیله در سیستم قدرت جهت نشان دادن قابلیت های آن در کنترل شارش توان و بهبود پایداری گذرا می باشد(فصول 1 و 2).

با توجه به مطالب بیان شده در فصول 1 و 2 ، کنترل کننده های FACTS و کنترل کننده های FACTS توزیع شده (D-FACTS) هم توانایی انتقال توان را برای کریدور های موجود افزایش می دهند و هم می توانند حاشیه پایداری و امنیت را برای محدودیت های موجود در انتقال توان افزایش دهند. قابلیت کنترل سریع توسط این ادوات قطعاً این نوع بهبود ها را فراهم می آورد، اما ازطرفی دیگر آن ها می توانند به طور مخالف با هم کنش داشته باشند و باعث تخریب عملکرد سایر ادوات موجود در سیستم شوند. تا کنون مطالعات فراوانی در زمینه اثر متقابل یا برهم کنش این ادوات انجام شده است [25]-[14].ولی با توجه به مقالات منتشر شده، این پایان نامه به نوع خود اولین تحقیقی می باشد که در زمینه برهم کنش بین ادوات FACTS و ادوات D-FACTS انجام شده است. با توجه به مطالب گفته شده تقسیم بندی فصول اول پایان نامه به صورت زیر می باشد.

فصل اول به معرفی ادوات FACTS و بررسی محدودیت های این ادوات می پردازد. در ادامه جبران ساز استاتیکی سری توزیع شده (DSSC) را به عنوان راهکاری مناسب جهت غلبه بر این محدودیت ها معرفی می کند.

فصل دوم توانایی ادوات FACTS توزیع شده یا DSSC را در کنترل توان عبوری خطوط سیستم قدرت و میراسازی نوسانات توان را نشان می دهد. دو سیستم نمونه در این راستا انتخاب شده و مطالعه کاملی بر روی این دو سیستم انجام گرفته است.

---

[1] Flexible AC Transmissiom System
[2] Distributed Flexible AC Transmission System
[3] Alternative Current
[4] Distributed Static Series Compensator

در فصل سوم از DSSC و STATCOM[5] با هم در یک سیستم قدرت چند ماشینه جهت میراسازی نوسانات بین ناحیه ای و محلی استفاده شده است و در ادامه درهم کنش بین کنترل کننده های این ادوات به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است.

بارهای نامتعادل و ضریب قدرت پایین دو مشکل اساسی سیستم های توزیع انرژی الکتریکی می باشند که باعث افزایش تلفات و مشکلات کیفیت توان در سیستم قدرت می شوند. به همین دلیل جبران سازی توان راکتیو برای حل این مشکلات یکی از مسائل مهم صنعت برق می باشد. جبران ساز استاتیکی سنکرون به طور وسیعی برای متعادل سازی شبکه و جبران سازی توان راکتیو مورد استفاده قرار گرفته است [28]-[26]. نمونه های اولیه این جبران ساز ها به صورت خازن کنترل شونده با تریستور (TSC[6]) و یا راکتور کنترل شده با تریستور (TCR[7]) بوده اند [28]. اما کانورتر های مبتنی بر ادوات و سوئیچ های الکترونیک قدرت در سال های اخیر محبوبیت بیشتری در صنعت برق جهت جبران سازی توان راکتیو پیدا کرده اند. یکی از مهمترین مزیت های این جبران سازها عدم نیاز به عناصر ذخیره کننده انرژی بزرگ می باشد. و همچنین سایر مزیت های آن در [29] آورده شده است. یکی از ادوات الکترونیک قدرت که برای بهبود کیفیت توان و جبران سازی توان راکتیو مورد استفاده قرار می گیرد، اینورتر منبع ولتاژی (VSI[8]) می باشد [31]-[30] . در این اینورتر ها برخی پارامتر های الکتریکی به گونه ای کنترل می شوند که بهترین حالت جبران سازی حاصل شود. تاکنون روش های متفاوتی برای به دست آوردن مقادیر بهینه پارامتر های کنترلی در جبران ساز های استاتیکی ارائه شده است [33]-[32].

در مراجع اصلی که در این زمینه منتشر شده روابط مرتبط با توان های اکتیو و راکتیو با این فرض به دست آمده اند که بار به صورت سه امپدانس با اتصال ستاره یا مثلث می باشد. بنابراین، روابط ارائه شده فقط برای بار های پسیو صادق می باشد و در بارهای اکتیو نمی توان از این روابط استفاده کرد [35]-[34]. بار های اکتیو مانند موتور القایی نمی توانند به وسیله یک امپدانس خالص مدل شوند زیرا شامل منابع ولتاژ و یا جریان در کنار امپدانس ها می باشند. این در حالی است که بیان بارهای سه فاز با استفاده از مقادیر توان های اکتیو راکتیو مصرفی آن ها، به عنوان روشی کاملاً عمومی در تمامی بار ها هم شامل بارهای اکتیو و هم شامل بارهای پسیو می باشد. در این پایان نامه برای کنترل اینورتر جهت متعادل سازی شبکه و اصلاح ضریب توان از روش جدید ذکر شده استفاده گردیده است. با استفده از الگوریتم ارائه شده، سیگنال های کنترلی اینورتر های تک فاز متصل شده به شبکه جهت متعادل سازی شبکه به دست می آید. نتایج شبیه سازی در فصل 4 قابلیت این الگوریتم را در جهت متعادل سازی شبکه و اصلاح ضریب توان به خوبی نشان می دهند.

---

[5] static reactive compensator
[6] Thyristor Switched Capacitor
[7] Thyristor controlled Reactor
[8] Voltage Sourse Inverter

فصل 1
ادوات FACTS و D-FACTS

1-1 معرفی ادوات FACTS

آنچه امروز صنعت برق نامیده می شود 100 سال پیش در سال 1880 شروع شده است. تقریبا از همان ابتدا، دو سیستم رقیب ظهور کردند: تولید و انتقال توان DC[9] که بوسیله توماس ادیسون معروف دنبال می شد و دیگری تولید و انتقال توان AC که در اروپا آغاز گردید و بوسیله نیکلا تسلا به طرحی عملی و قابل اجرا تبدیل گردید.

پیشرفت بی سابقه فناوری پس از جنگ جهانی دوم و رشد سریع صنعت به افزایش شدید تقاضا برای برق منجر شد و ظرفیت صنایع از 1950 تا 1970 دو برابر گردید. به این تقاضای عظیم، با افزایش تولید و انتقال و به هم پیوستن سیستمهای قدرت مستقل پاسخ داده شد. در ابتدای سالهای 1970 مشکلات زیادی بوجود آمد و در نتیجه می بایستی خطوط انتقال و نیروگاه های جدیدی برای تامین برق مورد نیاز احداث می شد، اما شرکت ها به خاطر مسائل اقتصادی قادر به هماهنگ سازی نبودند. در واقع توجه عمومی به محیط زیست و سلامتی و قوانین متعدد در مورد "حریم ها" موجب تاخیر زیادی درساخت نیروگاه و احداث خطوط انتقال گردیده است.

مشکلات اجتماعی جدید موجب به هم پیوستگی بیشتر سیستم های مجاور و تشکیل یک شبکه به هم پیوسته گردید. از علل این یکپارچگی می توان لزوم بهره برداری از بار های پراکنده، تغییر پیک به دلیل شرایط آب و هوایی و زمانی مختلف و امکان استفاده از ظرفیت رزرو مناطق دیگر، تغییر قیمت سوخت و تغیرات قوانین را نام برد.

اغلب سیستم های تامین نیروی برق در جهان به صورت گسترده ای به هم پیوسته اند. این به هم پیوستگی شامل ارتباطات داخلی قلمرو شرکت های برق بوده که در حد اتصالات بین شبکه ای گسترده شده و در نهایت به شبکه های فرا منطقه ای و بین المللی توسعه یافته است. این کار به دلایل اقتصادی انجام می شود تا هزینه برق کاهش یافته و قابلیت اطمینان آن افزایش یابد.

دلیل نیاز ما به این اتصالات، جدا از فراهم نمودن امکان تحویل برق به مصرف کننده، ایجاد تمرکز در مراکز تولید و مصرف برق است تا ظرفیت تولید و هزینه آن به حداقل کاهش یابد. شبکه های انتقال نیروی به هم پیوسته قادر هستند که با بهره گیری از پراکندگی بارها، در دسترس بودن منابع، و قیمت سوخت، انرژی الکتریکی را با حداقل قیمت و قابلیت اعتماد مورد نیاز به مصرف کننده برسانند.

به طور کلی اگر یک سیستم تحویل انرژی الکتریکی از خطوط شعاعی که شامل مولدهای منفرد می باشد تشکیل شده باشد، بدون اینکه بخشی از یک شبکه به هم پیوسته باشند، منابع تولید بسیار بیشتری لازم خواهد بود که باری را با همان قابلیت اطمینان تولید نماید، بدین ترتیب هزینه برق به مراتب بالا خواهد رفت. با چنین دیدگاهی، خط انتقال نیرو همیشه

[9] Direct Current

جایگزینی برای منبع تولید جدید خواهد بود. صرف نظر از اینکه سیستم از نیروگاههای کوچک و بزرگ تشکیل شده باشد. در واقع مولدهای کوچک پراکنده هنگامی از نظر اقتصادی به صرفه خواهند بود که از یک شبکه انتقال مستحکم برخوردار باشند. کسی نمی تواند به درستی بهینه بودن تعادل میان تولید و انتقال را در یابد مگر طراحان سیستم که از روش های پیشرفته تحلیلی استفاده می کنند و در این روش ها، برنامه ریزی شبکه انتقال را با یک برنامه اقتصادی یکپارچه تولید و انتقال انجام می دهند. هزینه خطوط انتقال نیرو و تلفات، همچنین مشکلات فراوری احداث خطوط جدید اغلب محدود کننده ظرفیت شبکه انتقال است. به نظر می رسد موارد زیادی وجود داشته باشد که در آنها تامین انرژی اقتصادی با مشارکت در منابع ذخیره با محدودیت ظرفیت انتقال مواجه باشد و چشم اندازی برای بهبود وضعیت وجود نداشته باشد. در محیط تغییر سا ختار یافته (خصوصی شده) برای ارائه خدمات برق، شبکه برق کار آمد از اهمیت حیاتی برای رقابتی کردن فضا در تامین این خدمات برخوردار است.

از طرف دیگر، با رشد میزان انتقال توان، سیستم قدرت به صورت فزاینده ای از نظر بهره برداری پیچیده تر شده و برای گذر از وضعیت قطعی از ایمنی کمتری برخوردار می گردد. این امر ممکن است به سیلان مقادیر زیاد توان، بدون کنترل مناسب منجر شود، توان راکتیو اضافی در بخش های مختلف سیستم ایجاد نماید، نوسانات دینامیکی بزرگی بین بخش های مختلف سیستم ایجاد نماید، که در نتیجه از همه ظرفیت ها و قابلیت های شبکه انتقال بهره برداری به عمل نمی آید.

در سالهای اخیر بار تحمیلی به شبکه های انتقال افزایش یافته است و این افزایش همچنان به دلیل ازدیاد تعداد مولدهای منفرد و جدا از شرکت های برق و همچنین افزایش رقابت میان خود شرکت ها، ادامه خواهد یافت. افزایش بار انتقالی، نبود طراحی بلند مدت و نیاز به دسترسی آزادانه شرکتها و مؤسسات تولید کننده، همه با هم موجب پدیدار شدن تمایلاتی در جهت ایمنی کمتر و کیفیت پایین تر تولید و تامین نیرو شده اند. فناوری FACTS با قادر ساختن شرکت ها به بهره گیری حداکثر از امکانات انتقال خود با افزایش قابلیت اطمینان شبکه، از عوامل اساسی در برطرف نمودن پاره ای از(نه تمامی) این مشکلات می باشد. هر چند باید تاکید کرد در بسیاری از ضرورت های افزایش ظرفیت شبکه احداث خطوط جدید، یا افزایش ظرفیت جریان و ولتاژ خطوط موجود در یک کریدور، ضرورت دارد.

استفاده از حداکثر ظرفیت سیستم های قدرت به همراه قابلیت اطمینان و امنیت آن یکی از مهمترین اهداف طراحان و بهره برداران این سیستم ها می باشد. در دهه اخیر در دنیا جهت نزدیک کردن دو هدف متفاوت حداکثر بهره برداری و حفظ امنیت و اعتماد سیستم، ادوات FACTS پشنهاد شده، و در بسیاری از شبکه های قدرت جهان نصب شده است. در این راستا نظر به اهمیت و شناخت این ادوات در جامعه صنعت برق ایران، مباحثی مطرح گردیده و اعتقاد بر این است که جامعه علمی و صنعتی به تکنیک ها و علم روز و هم چنین نو و تازه بودن این موضوع دسترسی پیدا کنند و در این زمینه تحقیقات لازم در دانشگاه ها و مراکزآموزش عالی انجام شود. پیشرفت سریع تکنولوژی الکترونیک قدرت، امکانات شگفت انگیزی را برای توسعه تجهیزات جدید به منظور بهره برداری بهتر از سیستم های موجود فراهم آورده است. در خلل دهه گذشته، تجهیزات کنترلی متعددی تحت عنوان تکنولوژی سیستم های انتقال انعطاف پذیرAC (FACTS) طراحی و تکمیل شده اند. تجهیزات FACTS رامی توان به طور مؤثری برای کنترل عبور توان، کنترل توان گردشی، تقسیم بین کریدور های موازی، تنظیم ولتاژ، افزایش پایداری گذراو تعدیل نوسانات سیستم به کار برد.

1-1-1 فرصت های فرآوری FACTS

آنچه که برای برنامه ریزان انتقال توان جالب است، آن است که فن آوری FACTS، فرصت های جدیدی را برای کنترل توان و افزایش ظرفیت قابل بهره برداری خطوط موجود و هم چنین خطوط جدید و ارتقاء یافته، فراهم می کند. امکان کنترل جریان در داخل یک خط انتقال با هزینه ای منطقی، افزایش ظرفیت خطوط موجود را به شکل خطوطی با هادی های بزرگ تر، و استفاده از یکی از ادوات کنترل کننده FACTS سیلان توان را در درون چنین خطوطی تحت شرایط عادی و پیش بینی نشده ممکن می سازد.

این فرصت ها از قابلیت کنترل کننده های FACTS در کنترل پارامتر هایی ناشی می شود که در ارتباط با یکدیگر عملکرد سیستم انتقال را هدایت می کنند؛ پارامتر هایی از قبیل امپدانس سری، امپدانس موازی، جریان، ولتاژ، زاویه فاز و میرا شدن نوسانات درفرکانس های مختلف زیر فرکانس نامی سیستم، غلبه بر این محدودیت ها، ضمن حفظ قابلیت اطمینان سیستم با استفاده از عوامل مکانیکی، بدون کاستن از ظرفیت قابل بهره برداری انتقال، مقدور نیست. کنترل کننده های FACTS می توانند با تامین انعطاف پذیری اضافی، یک خط انتقال را قادر به منتقل نمودن توان تا نزدیکی حد حرارتی آن بنمایند. کلید زنی مکانیکی نیازمند آن است که با پاسخ گویی سریع الکترونیک قدرت تکمیل شود. بایستی تاکید نمود که FACTS یک فناوری توانمند سازانه است نه یک جایگزین متناظر برای کلید های مکانیکی.

فن آوری FACTS یک کنترل کننده منفرد و پر توان نیست، بلکه مجموعه ای از کنترل کننده هاست، که هر یک می تواندبه تنهایی یا با هماهنگی دیگر کنترل کننده ها یک یا چند پارامتر ذکر شده را در سیستم کنترل نماید. یک کنترل کننده FACTS که به طرز مناسبی انتخاب شده باشد، می تواند محدودیت های خاص یک خط مشخص را یا یک کریدور را برطرف نماید. از آنجا که کنترل کننده های FACTS کاربردهایی از یک فن آوری پایه را عرضه می کنند، تولید آنها در نهایت می تواند از مزیت فن آوری های مبنا بهره ببرد. همانگونه که ترانزیستور جزء پایه برای طیف وسیعی از تراشه های میکرو الکترونیکی و مدارات است، تریستور یا ترانزیستور قدرت بالا نیز جزء اصلی برای مجموعه ای از کنترل کننده های الکترونیکی قدرت بالاست.

فن آوری FACTS هم چنین قابلیت آن را دارد که بتوان با استفاده از آن حد انتقال قابل بهره برداری را به صورت گام به گام و با سرمایه گذاری های مرحله ای در مواقع ممکن و لازم انجام داد. طراح سیستم می تواند پیش بینی خود را بر اساس یک سناریوی گسترش یابنده متشکل از ادوات کلید زنی مکانیکی و کنترل کننده های FACTS بنا نهد، به گونه ای که خطوط انتقال نیروی درگیر با ترکیبی از کنترل کننده های مکانیکی و FACTS اهداف مورد نظر را در یک برنامه سرمایه گذاری مرحله ای و مناسب کسب نمایند.

مناسب است اشاره شود که در اجرای فن آوری FACTS، ما با یک فن آوری پایه سر کار داریم که کار آیی آن از طریق HVDC[10] و موتورهای صنعتی توان زیاد به اثبات رسیده است. به این ترتیب، با تداوم اصلاح در ادوات نیمه هادی قدرت، بخصوص دستگاه هایی که قابلیت"قطع کردن" داشته باشند، و با تداوم پیشرفت در مفاهیم کنترل کننده های FACTS قیمت این کنترل کننده ها دائما کاهش می یابد. کاربرد وسیع فن اوری FACTSیک سناریوی حتمی است.

---

[10] High Voltage DC

2-1-1 اهداف FACTS

FACTS عبارت است از بکار گیری کنترل کننده های بر مبنای تجهیزات الکترونیک قدرت در سیستم های انتقال AC به منظور افزایش کنترل پذیری سیستم و افزایش قابلیت انتقال توان. با توجه به این تعریف ادوات FACTS دو هدف اصلی زیر را دنبال می کنند:

1- افزایش قابلیت انتقال توان سیستم های انتقال

2- عبور دادن توان از مسیر های مورد نظر

هدف اول به این معنی است که اگر پایداری سیستم در هنگام وقوع خطا و پس از آن با اعمال کنترل بلادرنگ توان حفظ شود، می توان توان انتقالی را تا رسیدن به حد حرارتی افزایش داد. البته این به این معنی نیست که خطوط همیشه در حد حرارتی خود کار می کنند(زیرا تلفات زیاد و قابل قبول نخواهد شد). اما این امر در شرایط اضطراری ممکن است بکار گرفته شود. با استفاده از کنترل کننده های FACTS به جای در نظر گرفتن حاشیه پایداری بزرگ، انتقال توان در وضعیت عادی به میزان قابل ملاحظه ای افزایش خواهد یافت. در سطح معینی از توان انتقالی، سیستم ناگهان ناپایدار می شود این سطح ماکزیمم توانی است که می تواند در حالت ماندگار انتقال یابد. این حد یک مقدار غیر قابل تغییر که با طراحی ماشین سنکرون و تجهیزات خط تثبیت شده باشد نیست، و با عوامل مختلفی قابل تغییر می باشد. مهمترین این عوامل تحریک ماشین سنکرون، تعداد اتصالات خطوط، تعداد و انواع ماشین های سنکرون متصل به شبکه، و تجهیزات جبران کننده می باشد.جبران کننده ها با تزریق توان راکتیو باعث می شوند تا سیستم اجازه عبور توان بیشتری از خطوط را در حد پایداری بدهد، در نتیجه بارپذیری سیستم افزایش پیدا می کند.

هدف دوم بیان می دارد که در صورت قابل کنترل بودن جریان خط مثلا تغییر امپدانس موثر خط می توان عبور توان را از طریق کریدور های انتقال توان دلخواه عبور داد و عبور گردشی توان را محدود کرد. همچنین این هدف بطور ضمنی بیان می دارد که تغییر سریع مسیر عبور توان در صورت وقوع حادثه باید امکان پذیر باشد تا عبور توان در کل سیستم انتقال به شکل دلخواه باشد.

برآورد دو هدف مذکور مستلزم بهبود گسترش کنترل کننده ها و جبرانگر های توان بالا می باشد. تکنولوژی مورد نیاز برای این مسئله در تجهیزات الکترونیکی فشار قوی و کنترل بلادرنگ آن نهفته است. هنگامی که تعداد مناسبی از این کنترل کننده ها و جبرانگر های سریع در کل سیستم قرار داده شد، کنترل کلی سیستم برای دستیابی به حداکثر مزایای ممکن و جلوگیری از بروز عکس العمل های نامناسب بین آرایش های مختلف سیستم و اهداف مورد نظر، مسئله تکنولوژیکی مهمی بوجود خواهد آورد. در این میان دستیابی به استراتژی کنترل بهینه سیستم و مسائل امنیتی و ارتباطات مخابراتی اهمیت دارد. می توان تحقق کنترل بهینه چنین سیستمی را سومین هدف FACTS به شمارآورد.