بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)
دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق – قدرت

کنترل ولتاژ در سیستم‌های توزیع مبتنی بر منابع تولید پراکنده

تهیه و تدوین :

عباس محمدی

اساتید راهنما :

دکتر محمد احمدیان

دکتر مؤمن بهادرنژاد

دی‌ماه 1388

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس بی‌پایان خویش را به درگاه محبوب نثار می‌دارم که توفیق انجام این پایان‌نامه را نصیبم گردانید و به رسم ادب و قدرشناسی، از زحمات اساتید ارجمند راهنما، آقای دکتر احمدیان که در طول انجام پروژه همراهم بودند و با راهنمایی-های ارزشمندشان مسیر راه را هموار نمودند، و آقای دکتر بهادرنژاد که نظرات و راهنمایی‌هایشان مفید و کارگشا بود تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از آقای دکتر قاضی‌زاده که در طول انجام پروژه از راهنمایی‌هایشان بهره‌مند بودم تشکر و سپاس ویژه دارم و موفقیت و سلامتی این عزیزان را از خداوند متعال مسئلت می-نمایم.

به نام خدا

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب عباس محمدی تائید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه، حاصل کار پژوهشی اینجانب می‌باشد و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده است مطابق مقررات ارجاع گردیده است.
این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک همسطح، پایینتر و بالاتر ارائه نشده است.
کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور) می باشد.

عباس محمدی

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

که چراغ زندگی‌ام هستند

و

روح پاک دایی عزیزم

که همواره مرا به تعالی مشوق بود.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه
1-1- مروری بر مطالعات صورت گرفته قبلی 2
1-2- نگاهی بر فصول پایان‌نامه 3
فصل دوم : منابع تولید پراکنده
2-1- مقدمه 5
2-2- تعریف تولید پراکنده 5
2-3- انواع منابع تولید پراکنده 6
2-3-1- موتورهای احتراق داخلی 7
2-3-2- توربین‌های گازی 7
2-3-3- میکروتوربین 8
2-3-4- پیل سوختی 8
2-3-5- سیستمهای فتوولتاییک 9
2-3-6- توربینهای بادی 9
2-4- مزایای تولید پراکنده 9
2-4-1- مزایای اقتصادی 9
2-4-2- تولید ایمن و مطمئن 10
2-5- محدودیتهای تولید پراکنده 11
2-6- آثار تولید پراکنده بر شبکه‌های الکتریکی 12

عنوان صفحه

2-7- تأثیر DG بر تنظیم ولتاژ شبکه 14
2-8- اثرات منفی احتمالی DG 14
فصل سوم : کنترل ولتاژ و توان راکتیو در سیستمهای توزیع
3-1- مقدمه 15
3-2- کنترل ولتاژ و توان راکتیو شبکه‌های توزیع 16
3-2-1- خازنهای شنت 16
3-2-2- جبرانگرهای استاتیکی 17
3-2-2-1- TSC 17
3-2-2-2- TCR 18
3-2-2-3- DVR 18
3-2-3- رگولاتورهای ولتاژ 19
3-2-3-1- مدل‌سازی رگولاتورها 20
3-3- ولتاژ در سیستمهای توزیع با منابع تولید پراکنده 21
3-3-1- روش تقریبی محاسبات افت ولتاژ سیستمهای توزیع با منابع تولید پراکنده 21
3-3-2- روش دقیق محاسبات افت ولتاژ سیستمهای توزیع با منابع تولید پراکنده 24
3-3-3- تلفات سیستمهای توزیع 25
3-4- کنترل ولتاژ با مشارکت منابع تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر 26
3-5- اصول عملکرد مبدلهای الکترونیک قدرت در تولید و جذب توان راکتیو 30
فصل چهارم : تخصیص بهینه توان راکتیو در سیستمهای توزیع با منابع تولید پراکنده
4-1- مقدمه 33
4-2- مسأله تخصیص توان راکتیو 34

عنوان صفحه

4-2-1- تابع هدف مسأله تخصیص توان راکتیو 34
4-3- مدلسازی منابع تولید پراکنده 36
4-4- پخش‌بار سیستم توزیع 36
4-5- سیستم مورد مطالعه 38
4-6- مروری بر بهینه‌سازی اجتماع ذرات 41
4-6-1- تفاوتها با الگوریتم ژنتیک 41
4-6-2- فرایند اجرایی PSO 42
4-6-3- PSO باینری 43
4-6-4- بیان PSO با یک مثال 44
4-7- شبیه‌سازی 44
4-7-1- خصوصیات بهینه‌سازی اجتماع ذرات اعمالی 45
4-7-2- نتایج 46
4-7-3- بررسی نتایج 51

فصل پنجم : کنترل زمان حقیقی ولتاژ سیستمهای توزیع با مشارکت منابع تولید پراکنده
5-1- مقدمه 53
5-2- کنترل مرکزی سیستمهای توزیع با منابع تولید پراکنده و ضرورت آن 54
5-2-1- ضرورت کنترل مرکزی 54
5-2-2- پیاده‌سازی کنترل مرکزی ولتاژ 55
5-3- فرایند کنترل زمان حقیقی ولتاژ سیستم توزیع 56
5-4- تخمین حالت سیستمهای توزیع 57
5-4-1- فرمولبندی تخمین حالت توزیع 58

عنوان صفحه

5-4-2- اجرای تخمین حالت در سیستم توزیع مورد مطالعه 59
5-4-2-1- روش بهینه‌سازی 59
5-4-2-2- نتایج 59
5-4-2-3- تخمین حالت سیستم توزیع با منابع تولید پراکنده و ادوات کنترل ولتاژ 64
5-5- پیاده‌سازی استراتژی کنترل پیشنهادی..... 69
5-5-1- تابع هدف..... 69
5-5-2- سیستم مورد مطالعه 70
5-5-3- خصوصیات بهینه‌سازی اجتماع ذرات اعمالی 71
5-6- نتایج اجرای کنترل زمان حقیقی ولتاژ 71
5-7- بررسی و تحلیل نتایج 93
5-8- صحت‌سنجی نتایج 96
5-8-1- صحت‌سنجی پخش‌بار 96
5-8-2- صحت‌سنجی برنامه بهینه‌سازی 98
5-8-3- صحت‌سنجی استفاده از متغیرهای تخمین زده شده..... 100
فصل ششم :نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات
6-1- نتیجه‌گیری 102
6-2- پیشنهادات برای پروژه‌های بعدی..... 103
مراجع 104

فهرست اشکال

شکل صفحه

شکل 3- 1: ترکیب TSC 17

شکل 3-2 : ترکیب TCR 17

شکل 3-3 : ترکیب TSC و TCR 19

شکل3-4: مدل تجهیز SVC و معادل مداری آن در این رساله 19

شکل 3-5 : شمای DVR 19

شکل 3-6 : مدل تجهیز رگولاتور 20

شکل 3-7 : مدار معادل چهار ترمیناله رگولاتور 20

شکل3-8: دیاگرام تک‌خطی و فازوری فیدر با یک بار در انتها 22

شکل3-9: فیدر با یک بار و یک DG در انتها 23

شکل3- 10 : فیدر با n گره 23

شکل3-11 : فیدر با انشعاب 24

شکل 3-12: فیدر با بار توزیع شده 27

شکل 3-13: توپولوژی مبدل منبع ولتاژ 30

شکل 3-14: شکل موج جریان و ولتاژ مبدل یک منبع تولید پراکنده 31

شکل 3-15: شکل موج ولتاژ خروجی برای ضرایب مدولاسیون مختلف 31

شکل 4-1 : الگوریتم پخش بار مورد استفاده 37

شکل 4-2 : دیاگرام تک‌خطی سیستم توزیع مورد مطالعه 38

شکل صفحه

شکل 4- 3 : دیاگرام سیستم مورد بررسی همراه با منابع تولید پراکنده و ادوات کنترل ولتاژ 45
شکل 4-4 : مقایسه پروفیل ولتاژ شینها، در سطح بار 1..... 48
شکل 4-5 : مقایسه پروفیل ولتاژ شینها، در سطح بار 2..... 48
شکل 4-6 : مقایسه پروفیل ولتاژ شینها، در سطح بار 3 49
شکل 4-7 : مقایسه پروفیل ولتاژ شینها، در سطح بار 4 49
شکل 4-8 : مقایسه تلفات، برای سطح بار 1 50
شکل 4-9 : مقایسه تلفات، برای سطح بار 2 50
شکل 4-10 : مقایسه تلفات، برای سطح بار 3 50
شکل 4-11 : مقایسه تلفات، برای سطح بار 4 51
شکل5-1 : سیستم کنترل ولتاژ مرکزی 55
شکل 5-2 : فلوچارت استراتژی کنترل زمان واقعی 56
شکل 5-3 : دیاگرام تک‌خطی سیستم مورد مطالعه همراه با ادوات اندازه‌گیر 61
شکل 5-4 : سیستم مورد مطالعه با ادوات کنترل ولتاژ 70
شکل 5-5 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 59% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 80
شکل 5-6 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 63% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 80
شکل 5-7 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 67% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 81
شکل 5-8 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 74% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 81

شکل صفحه

شکل 5-9 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 83% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 82
شکل 5-10 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 86% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 82
شکل 5-11 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 93% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 83
شکل 5-12 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با 96% بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 83
شکل 5-13 : پروفیل ولتاژ شینها در بازه زمانی با بار پیک با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ ... 84
شکل 5-14: تغییرات ولتاژ شین 1 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 84
شکل 5-15: تغییرات ولتاژ شین 2 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 85
شکل 5-16: تغییرات ولتاژ شین 3 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 85
شکل 5-17 : تغییرات ولتاژ شین 4 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 86
شکل 5-18 : تغییرات ولتاژ شین 5 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 86
شکل 5-19 : تغییرات ولتاژ شین 6 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 87
شکل 5-20 : تغییرات ولتاژ شین 7 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 87
شکل 5-21 : تغییرات ولتاژ شین 8 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 88
شکل 5-22 : تغییرات ولتاژ شین 9 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 88
شکل 5-23 : تغییرات ولتاژ شین 10 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 89
شکل 5-24: تغییرات ولتاژ شین 11 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 89
شکل 5-25 : تغییرات ولتاژ شین 12 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 90

شکل صفحه

شکل 5-26 : تغییرات ولتاژ شین 13 در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 90
شکل 5-27: تغییرات تپ LRT در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 91
شکل 5-28: تغییرات تپ SVR در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 91
شکل 5-29: تغییرات توان راکتیو خروجی DGها در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 92
شکل 5-30 : تغییرات توان راکتیو خروجی SVC در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 92
شکل 5-31 : مقایسه میزان تلفات در طول زمان با اعمال استراتژی‌های مختلف کنترل ولتاژ 93
شکل5-32 : دیاگرام تک خطی سیستم مورد بررسی همراه با منابع تولید پراکنده..... 99
شکل 5-33 : مقایسه پروفیل ولتاژ شینها با اعمال نتایج از دو روش مختلف بهینه‌سازی: جعبه ابزار ژنتیک نرم‌افزار MATLAB و الگوریتم اجتماع ذرات پیاده شده در رساله 100
شکل5-34 : مقایسه پروفیل ولتاژ شینها با متغیرهای واقعی و تخمینی 101

فهرست جداول

جدول صفحه

جدول4-1 : میزان قیود معادلات (4-2) 35
جدول 4-2 : مشخصات بار شینهای فیدر 39
جدول 4-3 : مشخصات شاخه‌های فیدر 39
جدول 4-4 : نتایج پخش بار اولیه 40
جدول 4-5: مقادیر توان خروجی منابع تولید پراکنده، خازنهای توزیع و موقعیت تپ SVR در سطوح مختلف بار 46
جدول 4-6 :وضعیت تپ SVR برای سناریوهای مختلف بار برای حالت اعمال کنترل بر SVR 47
جدول 4-7 : نتیجه پخش بار پس از تخصیص بهینه توان راکتیو در پیک بار 47
جدول 5-1 : مقایسه مقدار تخمینی بارهای سیستم مورد مطالعه با مقدار واقعی آنها 60
جدول 5-2: مقایسه مقادیر تخمین زده شده با مقادیر اندازه‌گیری شده فلوی توان شاخه‌ها 61
جدول 5-3: مقایسه مقادیر تخمین زده شده با مقادیر اندازه‌گیری شده ولتاژشینها 62
جدول 5-4 : مقایسه مقدار تخمینی بارهای سیستم مورد مطالعه با مقدار واقعی آنها در حالت دوم 62
جدول 5-5: مقایسه مقادیر تخمین زده شده با مقادیر اندازه‌گیری شده فلوی توان شاخه‌ها در حالت اندازه-گیری محدود 64
جدول 5-6: مقایسه مقادیر تخمین زده شده با مقادیر اندازه‌گیری شده ولتاژشینهادر حالت اندازه‌گیری محدود 65
جدول 5-7 : نتیجه تخمین بار وخروجی خازنهای توزیع و مقایسه با مقادیر جدول (4-5)..... 66
جدول 5-8 : نتیجه تخمین خروجی منابع پراکنده مقایسه با مقادیر جدول (4-5)..... 66

جدول صفحه

جدول5-9 : نتیجه تخمین حالت تپ SVR و مقایسه با جدول (4-5) 67

جدول 5-10: مقایسه مقادیر تخمینی فلوی توان جریان شاخه‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در حالت وجود منابع پراکنده ووسایل کنترل ولتاژ 67

جدول 5-11: مقایسه مقادیر تخمینی ولتاژ شینها با مقادیر اندازه‌گیری شده در حالت وجود منابع پراکنده ووسایل کنترل ولتاژ 68

جدول5-12 : میزان قیود معادلات (5-3) 70

جدول 5-13: مقدار خروجی منابع پراکنده، خازنهای توزیع،SVC ها و موقعیت تپ رگولاتورها در حالت بار پایه 72

جدول 5-14: میزان بار در ساعات مختلف شبانه‌روز 73

جدول 5-15: نتیجه تخمین بار و خروجی جبرانگرهای توان راکتیو در بازه زمانی دوم 73

جدول5-16: نتیجه تخمین حالت در ابتدای بازه زمانی دوم در مورد فلوی توان شاخه‌ها 74

جدول 5-17: نتیجه تخمین حالت در ابتدای بازه زمانی دوم در مورد ولتاژ شاخه‌ها 75

جدول 5-18: نتیجه تخمین وضعیت خروجی منابع تولید پراکنده در بازه زمانی دوم 75

جدول 5-19: نتیجه تخمین وضعیت تپ LRT و SVR در بازه زمانی دوم 76

جدول 5-20 : وضعیت خازنها، رگولاتورها و توان راکتیو DGها و SVCها بر حسب kVAR در تمام بازه-های زمانی 76

جدول 5-21: وضعیت تپ رگولاتورها در حالت اعمال کنترل صرفاً بر SVR و LRT 77

جدول 5-22: وضعیت تپ رگولاتورها در حالت اعمال کنترل صرفاً بر SVR و LRT با فرض روشن بودن خازنهای شنت 78

جدول 5-23: مقایسه اندازه ولتاژ شینها بر حسب پریونیت در دو حالت :خروجی برنامه پخش بار اجرا شده در این پژوهش و خروجی نرم‌افزار MATPOWER 97

جدول صفحه

جدول 5-24: مقایسه زاویه ولتاژ شینها بر حسب درجه در دو حالت :خروجی برنامه پخش بار اجرا شده در این پژوهش و خروجی نرم‌افزار MATPOWER 98
جدول 5-25 : خصوصیات الگوریتم ژنتیک اعمالی 99
جدول5-26: مقایسه مقادیر تابع هدف با اعمال دو الگوریتم PSO و GA..... 99
جدول5-27: خروجی برنامه و مقایسه مقدار تابع هدف برای متغیرهای واقعی و تخمینی 101

چکیده

کمینه کردن تلفات انرژی و انحراف ولتاژ شین‌ها، از اصلی‌ترین اهداف بهره برداری شبکه‌های توزیع به شمار می‌آید. توسعه زیرساخت های مخابراتی، تحقق نسل جدیدی از شبکه های توزیع- شبکه‌های هوشمند- با قابلیت تبادل سریع داده‌ها بین اجزای شبکه با هم و با یک مرکز کنترل را امکان‌پذیر ساخته است. لذا ایده کنترل زمان واقعی تجهیزات برای بهره‌برداری بهینه از آنها، در شبکه‌های توزیع مطرح شده است. از سوی دیگر توسعه روزافزون کاربرد منابع تولید پراکنده مانند پیل‌های سوختی که با اینورتر به شبکه متصل می‌شوند و در اختیار بودن ادوات کنترل ولتاژ و توان راکتیو مانند رگولاتور ولتاژ پله‌ای، جبران‌کننده‌های استاتیک و خازنها شنت و نیز ترانسفورماتور کنترل نسبت بار با قابلیت کنترل شوندگی از مرکز، زمینه را برای استقرار این ایده فراهم کرده است. این رساله به معرفی یک الگوریتم برای کنترل توان راکتیو سیستم توزیع با هماهنگی تجهیزات یاد شده در زمان واقعی برای دستیابی به پروفیل مناسب ولتاژ و کمینه کردن تلفات می‌پردازد و کارآمدی الگوریتم پیشنهادی را با اجرا روی یک شبکه توزیع واقعی نمایش می‌دهد. الگوریتم پیشنهادی، کنترل بهینه ولتاژ و توان راکتیو از طریق عملکرد هماهنگ منابع تولید پراکنده مبتنی بر اینورتر و ادوات کنترل ولتاژ سیستم با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات می‌باشد. جهت زمان واقعی نمودن عملیات کنترل ولتاژ، تخمین حالت سیستمهای توزیع عملیاتی شده‌است.

کلید واژه- بهینه‌سازی اجتماع ذرات، تخمین حالت سیستمهای توزیع، کنترل زمان حقیقی ولتاژ و توان راکتیو، منابع تولیدپراکنده مبتنی بر اینورتر

فصل اول

مقدمه

افزایش نیاز برای تولید توان الکتریکی، تجدید ساختار صنعت برق، تنگناها و محدودیت‌های ساخت خطوط انتقال جدید برای فاصله‌های دور انتقال توان و مشکلات اقتصادی و محیطی نیروگاه‌های بزرگ، موجب افزایش رغبت به تولید پراکنده قدرت شده است. واحدهای تولید پراکنده می‌توانند به لحاظ استراتژیک برای تقویت شبکه، کاهش تلفات و هزینه‌های عملیاتی، بهبود پروفیل ولتاژ و افزایش قابلیت اطمینان در سیستم قدرت استفاده گردند.

لزوم کنترل ولتاژ در سیستم‌های قدرت امری قطعی است.گسترش روز افزون استفاده از منابع تولید پراکنده[1]، شکسته شدن ساختار سنتی شبکه‌های توزیع که مبتنی بر شارش توان از پست به سمت فیدر است و وجود نوسانات توان خروجی این منابع، تنظیم ولتاژ سیستم توزیع را به مسأله‌ای مهم تبدیل کرده و مشارکت این منابع را در کنترل ولتاژ سیستم توزیع الزامی داشته است. همچنین، توسعه زیرساختهای مخابراتی، تولد نسل جدیدی از شبکه‌های توزیع- شبکه‌های هوشمند[2]- را به دنبال داشته است. وجود مرکز کنترل توزیع و تحت کنترل بودن اجزای سیستم از جمله ویژگیهای این شبکه‌ها می‌باشد. وجود این

[1] - Distributed Generation
[2] - Smart Grid

امکانات موجب شده است که ایده کنترل زمان واقعی سیستم‌های توزیع، به صورت امری قابل تحقق درآید. همچنین، امکان کنترل از مرکز منابع تولید پراکنده و دیگر اجزای شبکه فراهم گردد.

برخی از منابع تولید پراکنده نظیر پیل سوختی[1]، سیستم‌های فتوولتاییک[2] و برخی توربین‌های بادی از طریق اینورتر به شبکه متصل می‌گردند. این امر امکان تولید و کنترل پیوسته میزان توان را در این‌گونه منابع فراهم آورده‌است. امکان تحت کنترل مرکز بودن از دیگر ویژگی‌های این‌گونه منابع است. لذا امکان مشارکت جدی این منابع تولید پراکنده، در کنترل توان راکتیو سیستم‌توزیع از طریق جذب یا تزریق توان راکتیو با فرمان مرکز مهیا می‌باشد. همچنین امکان کنترل بهینه و هماهنگ این منابع با دیگر ادوات کنترل ولتاژ شبکه از طریق مرکز کنترل مهیا می‌باشد تا ایده کنترل زمان واقعی ولتاژ سیستم‌های توزیع پیاده‌سازی گردد.

این پایان نامه کنترل زمان واقعی بهینه ولتاژ و توان راکتیو سیستم‌های توزیع را با تخصیص بهینه و هماهنگ توان راکتیو به تمام تجهیزاتی که می‌توانند در این امر مشارکت داشته باشند پیاده‌سازی نموده است و با اجرای الگوریتمهای مختلف کنترل ولتاژ ، این الگوریتمها را با هم مقایسه نموده است.

1-1- مروری بر مطالعات صورت گرفته قبلی

مسأله تخصیص توان راکتیو موضوع تحقیقات گسترده‌ای در گذشته بوده که نتایج آن در مقالات زیادی به‌ویژه در جایابی و اندازه‌یابی خازنهای توزیع منتشر شده است. در این راستا الگوریتمهای بهینه‌سازی گوناگونی چون الگوریتم ژنتیک، آبکاری فولاد، جستجوی تابو آزموده شده است. در [1] ، همدانی گلشن و همکاران، با استفاده از روش جستجوی تابو، الگوریتمی برای حل مسأله پیشنهادکرده‌اندکه اندازه منابع پراکنده و خازنهای سیستم را به منظور حداقل‌سازی تلفات برای حل مسأله بهینه‌سازی را بیابد. [2] کنترل ولتاژ را با تعیین تپ رگولاتور ولتاژ در حضور منابع تولید پراکنده مورد بررسی قرار داده است. Karlsson و همکاران، کنترل ولتاژ و توان راکتیو با هماهنگی منابع تولید پراکنده وتپ زیر بار[3] مورد توجه قرار داده‌اند[3]. Abdel و همکاران، جایابی و مقداریابی خازنهای توزیع در حضور منابع تولید پراکنده را با الگوریتم اجتماع ذرات در [4] پیاده‌سازی کرده‌اند.Rizo کنترل ترکیبی بانکهای خازنی و رگولاتورهای ولتاژ با شبکه‌های عصبی را در [5] اجرایی نموده است. Hsu و همکاران، کنترل ولتاژ با هماهنگی ترانسفورماتور زیر بار و بانکهای خازنی را پیاده‌سازی نموده‌اند[6].

---

[1] - Fuel Cell
[2] - Photovoltaic System
[3] - On Load Tap Changer