

بهبود کیفیت توان با استفاده از منطق فازی و تعیین عملکرد خازن و تپ چنجر

محسن حسین زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد گناباد

امیر محمدی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

محمد تقی عرب یار محمدی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد دزفول

محمود جورابیان
عضو هیئت علمی
دانشگاه شهید چمران اهواز

کلمات کلیدی: کیفیت توان - کنترل توان راکتیو - منطق فازی - تپ چنجر - خازن

ساعتی برای کلیدزنی بانک خازنی و تغییر دهنده تپ زیر بار (OLTC) در یک پست توزیع اصلی استفاده می کند و جدول ستونی و عملکرد خازن برای تعداد عملکردشان تنظیم شده است . با استفاده از آن روش این فرکانس تعمیر و نگهداری تغییر دهنده ی تپ ترانسفورماتور را کاهش خواهد داد و از اینرو تحویل تغذیه کامل را بهبود می بخشد. داده های گذشته از یک پست اصلی توزیع برای شبیه سازی عملیات کنترل توان راکتیو یا ولتاژ در پست بکار برده شده است . نتایج تجزیه و تحلیل شده اند و با مکانیسم کنترلی جریان مقایسه شده و تاثیر بخشی روش پیشنهاد شده اثبات شده است . در کل با استفاده از این روش تعداد کلیدزنی خازن و تعداد تغییر عملکرد تپ ترانس کاهش می یابد و تنظیم ولتاژ و ضریب توان بهتر خواهد شد یعنی کیفیت توان بهبود می یابد. بنابراین اساس کار در این مقاله استفاده از کنترل توان راکتیو و تنظیم ولتاژ است .

چکیده: کنترل ولتاژ یا توان راکتیو برای بهبود کیفیت توان در یک سیستم قدرت در سالهای اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است . در مقالات مسئله کنترل ولتاژ در خط انتقال اغلب با استفاده از پخش بار بهینه حاصل می گردد . متغیرهای کنترلی مثل ولتاژ تولید ، تپ ترانس راکتیو و خازن در EHV و پست اولیه به منظور حداقل تغییرات شین و تلفات خط انتقال باید بهینه گردند تا کیفیت توان مطلوب گردد . از طرف دیگر به کنترل ولتاژ در فیدرهای توزیع می توان توسط جایگذاری خازنها در موقعیت های مناسب دست یافت. روش های عددی مثل آنالیزی، برنامه نویسی دینامیک و یا برنامه نویسی غیر خطی و بر نامه نویسی عدد صحیح ترکیب شده شبکه های عصبی مصنوعی سیستم های خبره و الگوریتم ژنتیک برای طراحی و بهره برداری از خازن ها در طول فیدرهای توزیع گسترش پیدا کرده اند این مقاله روشی را ارائه می کند که از تکنیک برنامه نویسی فازی برای تعیین یک جدول ارسال فرمان

بهبود کیفیت توان با استفاده از منطق فازی و تعیین عملکرد خازن و تپ چنجر

محسن حسین زاده
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد گناباد

امیر محمدی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات تهران

محمد تقی عرب یار محمدی
دانشجوی کارشناسی ارشد
دانشگاه آزاد واحد دزفول

محمود جورابیان
عضو هیئت علمی
دانشگاه شهید چمران اهواز

کلمات کلیدی: کیفیت توان - کنترل توان راکتیو - منطق فازی - تپ چنجر - خازن

با هر یک از روش های کنترل مهندسی در مرکز کنترل با

مقدمه :

یک برنامه ی نرم افزاری ثبت شده در سیستم SCADA

در یک نمونه از پست اصلی توزیع ، ترانسفورماتورهای اصلی

کنترل می شود. بدون تردید این طرح یک شکل ولتاژ بسیار

132/11KV یا 33/11KV به منظور تامین بارها در منطقه و

رضایت بخش و تصحیح ضریب توان ترانسفورماتور اصلی در

خازنهای 11KV و 5MVAR برای جبران توان راکتیو موضعی

شرایط استفاده از بارهای مختلف را نتیجه می دهد .

نصب شده اند.

به هر حال در اینجا ارتباط عملیاتی بین AVR و برنامه نرم

ولتاژ شین اصلی اساساً تنظیم شده با تپ چنجر تحت بار

افزاری نیست . این مقاله یک روش برنامه نویسی فازی برای

(OLTC) ترانسفورماتورهای اصلی است که این هم مطابق با

حل مسئله هماهنگ سازی پیشنهاد می کند . در بهینه کردن

تنظیمات ولتاژ ارائه شده با رله تنظیم ولتاژ اتوماتیک کنترل شده

تعداد کلید زنی خازنی و عملکرد های OLTC راه حلی

است. از سوی دیگر توان راکتیو جاری در ترانسفورماتور اصلی که

پیشنهاد شده که ولتاژ باس بار و ضریب توان ترانسفورماتور

اساساً با کلید زنی خازن تنظیم شده است از راه دور بطور سراسری

V2: ولتاژ باس ثانویه ترانسفورماتور اصلی (11KV)

ZT: امپدانس ترانسفورماتور اصلی

t: نسبت ولتاژ ترانس

PL: توان اکتیو تقاضای بار

QL: توان راکتیو تقاضای بار

در یک سیستم توزیع کاربردی تقاضاهای توان اکتیو و راکتیو

ممکن است با ترکیبی از سه نوع مدل بار مدل سازی شده

باشد، برای مثال مدل امپدانس ثابت، مدل جریان ثابت و

مدل توان ثابت. آن ها می توانند به عنوان تابعی از ولتاژ

باس ثانویه به صورت زیر بیان شوند:

$$P_L = P_D * (a|V_2|^2 + b|V_2| + c) \quad (1)$$

$$Q_L = Q_D * (d|V_2|^2 + e|V_2| + f) \quad (2)$$

این جا QD, PD به ترتیب تقاضاهای توان اکتیو و راکتیو

هستند و ولتاژ شین ثانویه، ۱ پریونیت یا ۱۱ کیلو ولت است

. برای تعیین موقعیت تپ OLTC، نسبت ولتاژ ترانس اصلی

(t) در ابتدا به عنوان تابعی از ولتاژ شین ثانویه بیان شده

اصلی را طی بازه های زمانی تعیین شده برای همه اوقات حفظ می

کند. بطور اعم با استفاده از متغیرهای فازی کیفیت توان را بهبود

می دهد.

مشکلات فرمول بندی:

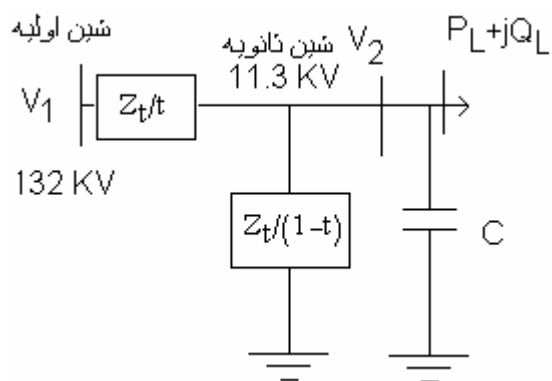
این روش گرفتار یک زمان بندی ساعتی برای موقعیت تپ و

وضعیت خازن در طول روز می شود، یک ارتباط بین موقعیت تپ

و متغیرهای دیگر سیستم اول نتیجه گرفته شده است. پست

توزیع اصلی ممکن است با یک دیاگرام تک خطی در زیر مدل

شده باشد.



شکل(۱): مدل ریاضی ترانس اصلی با خازن و تپ چنجر

علائم نمایش داده شده در دیاگرام بالا به صورت زیر می باشند:

V1: ولتاژ باس اولیه ترانسفورماتور اصلی (۱۳۲k V)

است. از شکل ۲ در بالا تقاضای توان اکتیو و راکتیو می تواند

نسبت ولتاژ ترانسفورماتور (t) می تواند به صورت زیر از (۶)

بصورت معادلات زیر بیان شود :

نتیجه شود :

$$t = \{ [A|V_2|^4 + B|V_2|^3 + c|V_2|^2 + D|V_2|^2 + D|V_2| + E] / K^2 |V_1|^2 |V_2|^2 \}^{1/2} \quad (7)$$

$$P_L = (|V_1||V_2|/|Z|) \sin(\angle V_1 - \angle V_2) = (|V_1||V_2|/|Z|) \sin \theta_{12} \quad (3)$$

$$Q_L = (-|V_2|^2/|Z|) + |V_1||V_2| \cos \theta_{12} / |Z| = -|V_2|^2/|Z'| \quad (4)$$

$$1/|Z'| = (1-t)|Z_T| - 1/|Z_C| \quad |Z| = |Z_T|/t$$

وقتی که $|V_2|$ تعیین شده در معادله (۷) قرار داده شود نسبت

ولتاژ ترانس فورماتور ایده ال ($t(\text{ideal})$) است ، پس نسبت

ولتاژ ترانسفورماتور واقعی بدست نیامده است ($t(\text{actual})$).

با ترکیب (۳) و (۴) داریم :

زیرا ($t(\text{actual})$) وابسته به موقعیت تپ OLTC است :

$$[Q_L + |V_2|^2/|Z'|]^2 = (|V_1|^2 |V_2|^2 / |Z|^2 - P_L^2) \quad (5)$$

$$t_{actual} = 1 + 0.015 * TAP \quad (8)$$

با قرار دادن (۱) و (۲) در (۵) داریم :

که در اینجا تپ عدد صحیح هست .

برای رسیدن به نسبت ولتاژ ترانسفورماتور واقعی ($t(\text{actual})$)

$$A|V_2|^4 + B|V_2|^3 + [C - (k * t)^2 |V_1|^2] * |V_2|^2 + D|V_2| + E = 0 \quad (6)$$

در ابتدا یک تپ عدد صحیح پیدا شده است . چنان که

$$A = 1 + 2d(k * |Z_T|)Q_D + a^2(k * |Z_T|)^2 P_D^2 + (k * |Z_T|)^2 Q_D^2$$

$1 + 0.015 * TAP$ نزدیکترین مقدار به ($t(\text{ideal})$) است . در

$$B = 2e(k * |Z_T|)Q_D + 2a b(k * |Z_T|)^2 P_D^2 + 2de(k * |Z_T|)^2 Q_D^2$$

این روش موقعیت تپ OLTC تعیین شده است . سپس

$$C = 2f(k * |Z_T|)Q_D + (2ac + b^2)$$

($t(\text{actual})$)؛ (۸) محاسبه شده است . با قرار دادن ($t(\text{actual})$)

$$(k * |Z_T|)^2 P_D^2 + (2df + e^2)(k * |Z_T|)^2 Q_D^2$$

$$D = 2bc(k * |Z_T|)^2 P_D^2 + 2ef(k * |Z_T|)^2 Q_D^2$$

$$C = c^2(k * |Z_T|)^2 P_D^2 + f^2(k * |Z_T|)^2 Q_D^2$$

در (۷) واقعی در ($t(\text{actual})$) داده شده است . متغیر

کنترلی دیگر وضعیت روشن / خاموش ساعتی (Xi) بانک خازنی

می باشد. از سطح خطای منبع 11KV می توان فهمید که تغییر

ممکن در ولتاژ شین اصلی به خاطر وارد / خارج شدن خازن

خواهد شد. ۱ حرکت در تپ، تپ چنجر صورت گیرد. بنابراین در

هر ۶ حالت در ترکیب (TAPi-1, TAP, TAPi+1) و

(Xi=0, Xi=1) ممکن خواهد بود. برنامه نویسی فازی به بیان

مشکلات کنترل ولتاژ و توان راکتیو به صورت فرمول ریاضی نزدیک

می شود. حال تعریف می کنیم:

Xi=1: هنگامی که در ساعت i خازن در مدار قرار دارد

Xi=0: هنگامی که در ساعت i خازن در مدار قرار ندارد

علاوه بر این این متغیرها را نیز تعریف می کنیم:

ΔV_{2i} = انحراف ولتاژ باس ثانویه از مقدار تعیین شده در ساعت i

$\mu_{|\Delta V_{2i}|}$ = تابع عضویت برای $|V_2|$ در ساعت i

μ_{pf} = تابع عضویت pf در ساعت i

N_{TAP} = تعداد کل کلید زنی OLTC در یک روز

$\mu_{N_{TAP}}$ = تابع عضویت برای N_{TAP}

N_C = مجموع تعداد کلید زنی خازن در یک روز

μ_{N_C} = تابع عضویت برای N_C

TAPi = موقعیت تپ OLTC در ساعت i

$|V_2^{\min}|$ = پائین ترین حد ولتاژ شین ثانویه (0.94 P.u.)

$|V_2^{\max}|$ = بالاترین حد ولتاژ شین ثانویه (1.1 P.u.)

این مسئله می تواند به عنوان یک مسئله بهینه سازی در یک

دوره زمانی (۲۴ ساعته) بر روی تابع هدفی که در زیر تعریف

شده بیان شود.

راه حل برای این مسئله می تواند با بدست آوردن یک

مجموعه متغیر کنترلی ($i=1, \dots, 24$)

TAPi ($i=1, \dots, 24$) و Xi=1 برای خازن و

برای OLTC پیدا شود

$$j = \sum_{i=1}^{24} \mu_{|V_{2i}|} + \sum_{i=1}^{24} \mu_{pf} + \mu_{N_{tap}} + \mu_{N_C}$$

$$= j1 + j2 + \mu_{N_{tap}} + \mu_{N_C} \quad (9)$$

چنان که تابع هدف (۹) با در نظر گرفتن قیود زیر (۱۰ تا ۱۳)

عبارت μ_{Nc} در تابع هدف، درجه مطلوبیت به ترتیب برای

ماکزیمم شود.

برتری مجموع تعداد عملکرد تغییردهنده ی تپ و کلید زنی

خازن در جدول را نشان میدهد .

$$N_{tap} = \sum_{i=2}^{24} |Tap_i - Tap_{i-1}| \leq 30 \quad (10)$$

$$Nc = \sum_{i=2}^{24} |X_i - X_{i-1}| \leq 6 \quad (11)$$

$$|V_2^{\min}| \leq |V_{2i}| \leq |V_2^{\max}| \quad (12)$$

$$|Pfi| \geq 0.85 \quad (13)$$

توابع عضویت:

الف) تابع عضویت برای متغیر فازی ΔV_2 :

بر طبق آیین نامه عرضه ی برق حدود اعلام تحت شرایط

ابتدا عبارت J1 در تابع هدف J محدودی که ولتاژ شین ثانویه $|V_2|$

عادی برای خط ۱۱kv در انتهای منطقه ی سرویس دهی

تا اندازه تعیین شده نگه داشته شده است را شرح می دهد .

شرکت ۱۱KV بعلاوه ۱۰٪ بالاتر یا ۲/۵٪ پائین تر می باشد

(11.3KV) و با یک تابع عضویت $\mu_{|\Delta V_2|}$ برای متغیر فازی

. یک ولتاژ بالاتر در شین ثانویه (۱۱/۳ kv) انتخاب می شود

ΔV_2 شرح داده شده است . حداکثر کردن تابع عضویت $\mu_{|\Delta V_2|}$ و

تا ولتاژ عرضه شده به مشترکان در نقاط گره ای مدارات

از اینرو تابع هدف کلی برای دستگاه متغیرهای کنترل Xi و

شعاعی یا حلقوی ۱۱ KV، در حد رضایت بخشی باقی بماند

TAPi نزدیکترین فرم ولتاژ ثانویه به مقدار هدف تعیین شده را

. یک تابع عضویت کاهنده به صورت زیر در نظر گرفته می

نتیجه خواهد داد .

شود.

بطور مشابه عبارت دوم J2 تابع هدف و تابع عضویت μ_{pf} درجه

جبران سازی با ضریب توان در دستگاههای مختلف متغیرهای

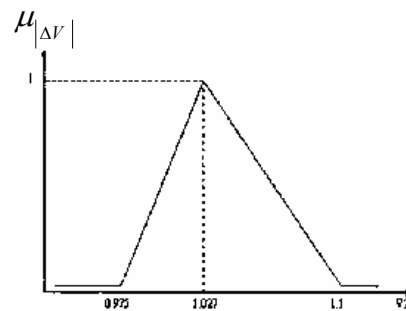
کنترل را نشان داده است . سومین عبارت $\mu_{N_{TAP}}$ و چهارمین

از آنجا که یکی از اهداف روش پیشنهاد شده حداقل کردن

عملکرد تپ چنجر است، لذا یک حد اختیاری ۳۰ که تعداد

عملکرد تپ چنجر در ۷ روز می باشد را در نظر می گیریم .

بنابراین تابع عضویت به صورت زیر در نظر گرفته می شود .



شکل(۲): تابع عضویت برای متغیر فازی ΔV_2

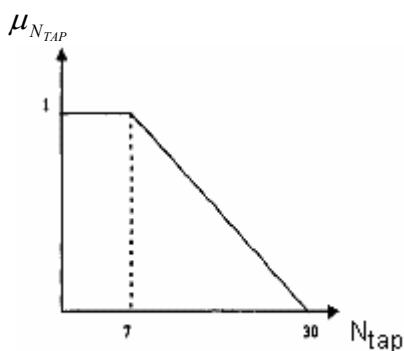
ب) تابع عضویت برای متغیر فازی Pf :

از آنجا که مجاز نیست ضریب توان بار مشترکان در هیچ لحظه ای

از یک مقدار مینیمم ۰/۸۵ پیش فاز کمتر باشد ، بهتر آنست که

حداقل مقدار ضریب توان ۰/۸۵ در پست توزیع اصلی داشته باشیم

. تابع عضویت ضریب توان به صورت زیر در نظر گرفته می شود .

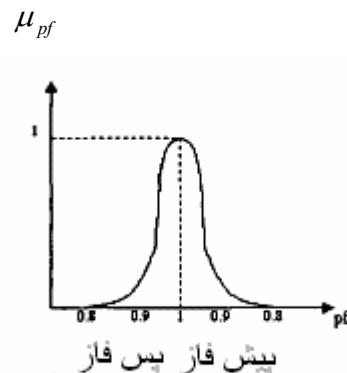


شکل(۴): تابع عضویت متغیر فازی N tap

د) تابع عضویت متغیر فازی Nc :

یک تابع عضویت مشابه با تابع عضویت عملکرد تپ چنجر به

کار گرفته می شود و در شکل زیر نشان داده شده است .



شکل(۳): تابع عضویت برای متغیر فازی Pf

ج) تابع عضویت متغیر فازی N tap :

همینطور که در بالا هم اشاره شد ، موقعیت های ممکن برای

تپ (چنجر) در هر ساعت به ۳ مقدار مطلوب محدود می شود

لذا تعداد حالتها برای جواب به $(2 \times 6)^{24}$ حالت محدود می

گردد .

فلوچارت برنامه :

الگوریتم مسئله برای روش برنامه ریزی به روش فازی در زیر

نشان داده شده است . می توان فهمید که برای رسیدن به راه

حل ارسال فرمان به منظور ولتاژ و توان راکتیو بهینه در یک

روز، پیمایش معکوس در ذیل آمده است.

گام ۱: شروع

گام ۲ : $H=1$

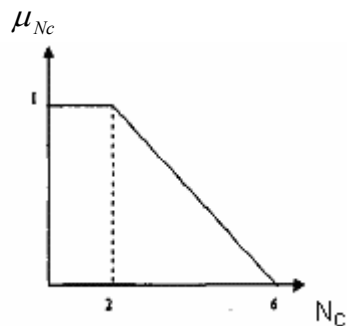
گام ۳ : محاسبه تابع هدف برای ۶ حالت در مرحله اول

گام ۴ : $H=H+1$

گام ۵ : $M = \{ K \}$ حالت ممکن با بیشترین مقدار تابع

هدف J در مرحله $H-1$

حالت اول $M=1$ حالت های دیگر $M=36$



شکل(۵): تابع عضویت متغیر فازی Nc

متغیرهای حالت مطلوب مسئله ،

X_i ($i = 1, 2, 3, \dots, 24$) و TAP_i ($i = 1, 2, \dots, 24$) را می

توان از عبارات ریاضی (۱۳) تا (۱۹) و توابع عضویت فوق بدست

آورد . برنامه زمانی ارسال فرمان به منظور ولتاژ / توان راکتیو بهینه

با انتخاب حالت های پاسخ همراه با تابع هدف ماکزیمم بدست می

آید . از آنجا که دوره مطالعه به ۲۴ مرحله تقسیم می گردد

(ساعت ۲۴) و از آنجا که دو مقدار ممکن برای X_i (۰ یا ۱) وجود دارد ،

و ۲۴ مقدار ممکن برای TAP_i ($TAP_i = 1, 2, \dots, 24$) وجود دارد ،

بنابراین $(2 \times 24)^{24}$ ، حالت ممکن برای پاسخ وجود خواهد

داشت .

مقادیر بار اختیاری از داده های قبلی سیستم ذخیره ۲۰۰۰،

گام ۶: محاسبه $J^{(H,L)}$ با استفاده از معادله ۱۵ برای همه حالتها

اطلاعات گرفته می شوند

بی که مرحله H بوجود آورده است .

خلاصه ای از نتایج عملکرد تپ و کلیدزنی بانک خازنی از

گام ۷: ذخیره ۳۶ حالت ممکن با بیشترین مقدار تابع هدف از J

دو روش کنترلی در زیر آمده است .

در مرحله H

گام ۸: اگر $H=24$ به گام ۹ بروید وگرنه به گام ۴ بروید

گام ۹: $H=24$

شماره	روز	روش کنترل جریان a	روش ارائه شده a	روش کنترل جریان b	روش ارائه شده b
۱	۴شنبه	۶	۰	۱۴	۱۰
۲	۵شنبه	۶	۰	۱۱	۹
۳	جمعه	۶	۲	۱۱	۹
۴	شنبه	۱۰	۰	۱۰	۶
۵	۱شنبه	۴	۰	۱۱	۹
۶	۲شنبه	۱	۰	۱۰	۸
۷	۳شنبه	۵	۰	۱۲	۶
۸	۴شنبه	۵	۰	۱۳	۹
۹	۵شنبه	۳	۱	۱۲	۸

جدول (۱): مقایسه روش کنترل جریان با روش پیشنهاد شده

گام ۱۰: بدست آوردن بهترین راه حل برای بهینه کردن ولتاژ و

توان راکتیو

گام ۱۱: پایان

مثال:

(a) تعداد کلیدزنی خازن

این روش برای بهبود ضریب توان ترانسفورماتورهای اصلی نمودار

(b) تعداد عملکرد تپ چنجر

ولتاژ شین اصلی 11 kv در یک پست توزیع اصلی در که بارهای

جدول فوق نشان می دهد که روش پیشنهاد شده نسبت به

صنعتی را تغذیه می کند ، به کار گرفته شده است .

روش کنترل جریان به تعداد کمتری کلید زنی خازنی و

امپدانس ترانسفورماتور اصلی 132kV/11k و 35MVA و

عملکرد OLTC نیاز دارد . بعلاوه نمودار ولتاژ شین ثانویه و

0.79229 می باشد برای ساده سازی تحلیل به جای ولتاژ و

ضریب توان حاصل از روش جدید نسبت به روش کنترل جریان بهتر هستند.

نظر گرفته می شوند و نتایج نشان می دهند که توابع عضویت اصلی انتخاب خوبی هستند .

تحلیل حساسیت :

نتیجه گیری:

جدول زمانی ارسال فرمان توسط مسیر رسیدن به راه حل با بزرگترین تابع هدف معین می گردد و محاسبات مبتنی است بر

یک روش برای کنترل توان راکتیو / ولتاژ در یک پست اصلی توزیع بوجود آمده است . این روش رهیافت برنامه نویسی پویا

انتخاب توابع عضویت $\mu_{NC}, \mu_{Ntap}, \mu_{pf}, \mu_{|V2i|}$. تحلیل

مبتنی بر فازی را اتخاذ کرده تا یک جدول زمانی برای ارسال

حساسیت به این منظور انجام می شود تا مشخص کند آیا انتخاب

فرمان ایجاد کند که در آن وضعیت OLTC و خازن

اشکال مختلف توابع عضویت $\mu_{NC}, \mu_{Ntap}, \mu_{pf}, \mu_{|V2i|}$ به

پیشاپیش تعیین شده اند . توسط این جدول زمانی ارسال

جداول زمانی متفاوت در ارسال فرمان منجر خواهد شد یا نه.

فرمان، عملکرد OLTC و کلید زنی خازن به منظور کاهش

تعداد عملکردها ایشان با هم هماهنگ شده اند.

اشکال مختلف توابع عضویت $\mu_{NC}, \mu_{Ntap}, \mu_{pf}, \mu_{|V2i|}$ با شکلی

بررسی نشان می دهد روش پیشنهاد شده به هدف اصلی اش

همگرا تر در تحلیل مورد استفاده قرار گرفته اند .

می رسد . بعلاوه نتایج نشان می دهد که این روش جدید در

جداول زمانی ارسال فرمان و متغیرهای مرتبط با آنها در سیستم

مقایسه با مکانیزم کنترل جریان نمودار ولتاژ شین اصلی

قدرت (یعنی $V2, Pf, Ntap, Nc$) که از ترکیبات مختلف

ثانویه و ضریب توان ترانس بهتری را در طول روز نتیجه می

توابع عضویت حاصل شده اند . با هم مقایسه شده اند . ضرائب

دهد. به این ترتیب روش پیشنهاد شده یک راه حل دیگری

مختلف وزن دهنده برای μ_{NC}, μ_{Ntap} هم در تحلیل حساسیت در

برای مسئله کنترل توان راکتیو / ولتاژ را در پست اصلی توزیع

[4] Martin T. Hagan and Suzanne M. Behr,
“The Time Series Approach to Short
Term Load Forecasting,”
IEEE Trans. On Power System,

مورد بررسی ارائه می دهد، که این حالت فرضیاتی در نظر گرفته
شده که داده های تقاضای بار پیش بینی شده هم دقیق اند و هم
قابل استفاده هستند

مراجع :

[1]C.J. Bridenbarugh, D.A. DiMascio and
R.D'Aquila
, “Voltage Control Improvement
Through Capacitor and Transformer Tap
Optimization,” IEEE Trans. On Power Delivery,
Vol. 7, No. 2, May 1992, pp. 222-227.

[2]M.M.A. Salama and A.Y. Chikhani, “An
Expert System for Reactive Power
Control of a Distribution System,”
IEEE Trans. On Power
Delivery, Vol. 7 No.2, April 1992, pp. 940-945.

[3] Chun-Ching Su and Yuan-Yih Hsu, “Fuzzy
Dynamic Programming: An
Application to Unit Commitment,”
IEEE Trans. On Power Systems,