اصول تنظیم خودکار تولید وانتقال نیرو در شبکه‌های بهم‌پیوسته

نوشتهٔ :

قابا

دانشکدهٔ فنی

چکیده

بهم پیوستن شبکه های تولید نیرو برای افزایش اطمینان کار ، دوام تغذیه ، بالا رفتن کیفیت انرژی بعلت پایداری بیشتر فشار و فرکانس ، و بالاخره کاهش بهای انرژی انجام میگیرد.

سیستم شبکه های بهم پیوسته مرکب از مولدها، گیرنده ها و شبکه های انتقال و توزیع انرژی الکتریکی فقط وقتی درحال تعادل است که دو شرط اساسی زیر تحقق یابد:

الف ـ تمام آلترناتورها با سرعتی برابر فرکانس شبکه (یا $n=\frac{f}{P}$, f فرکانس شبکه و P زوج قطبهای آلترناتور) دوران نماید.

ب ـ تولید بطور پیوسته برای جوابگوئی مصرف تغییر نموده ودر هرلحظه تولید برابر مصرف باشد.

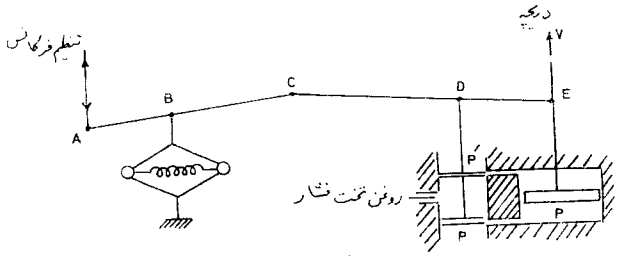
بدین‌ترتیب دریک شبکه بهم پیوسته لازم است بطور دائم توان و فرکانس آلترناتورها تنظیم‌شود. روشن است که این دو کمیت تابع یک دیگرمیباشد. بطوریکه پائین آمدن فرکانس نشان میدهدکه توان آلترناتورها کافی نبوده و باید مقدار آن افزایش یابد. بالعکس افزایش فرکانس نشان دهنده کم شدن مصرف و زیادی تولید میباشد.

سیستم تنظیم معمولا براساس مجموع جبری توان‌های انتقال یافته توسط خطوط اتصال بین شبکه‌ها و فرکانس تعیین میشود. بدین‌ترتیب قسمتی از توان کل شبکه که بعهده هرگروه مولد است مشخص میگردد. درشبکه‌های بهم پیوسته ظرفیت خطوط انتقال در برابر توان کل شبکه‌ها کم است. بدین سبب تغییرات توان مبادله شده به مقدارکمی‌محدود میگردد. همچنین تغییرات سرعت آلترناتورهای مدرن‌بوسیله سیستم‌های حفاظتی محدوداست بطوریکه عملا اختلاف سرعت حالت‌بی‌بار و با بار از چند درصد نمی گذرد. ناچار باید فرکانس نزدیک بیک مقدار ثابت (فرکانس مقرر) نگاهداری شود و تغییرات آن از حدی تجاوز ننماید.

اصول سیستم تنظیم فرکانس

برای جلوگیری از تغییرفرکانس در اثر تغییر مصرف، باید تولید قدرت واحدها برای ایجادموازنه تغییر داده شود. این عمل توسط دستگاههای تنظیم، با ازدیاد یا کاهش توان توربین ها انجام میگیرد.

اصول کار یکسیستم تنظیم فرکانس درشکل (۱) نشان داده شده است. دراین‌سیستم‌باکم‌شدن فرکانس، نیروی گریز از مرکز کم شده و نقطه B بسمت بالا حرکت‌میکند. در نتیجه با فرض ثابت بودن نقاط A و E نقطه C و D نیز بسمت بالا حرکت مینماید. باحرکت نقطه D پیستون‌های p و p' جابجا شده و روغن تحت فشار، پیستون P و نقطه E را بسمت پائین حرکت میدهد. این‌حرکت دریچه ورودبخار یا آب V را بازترنموده وتوان را افزایش میدهد.



شکل (۱)

با توجه‌بمکانیزم سیستم ملاحظه میشودکه پس از مدتی پیستون P درحال تعادل قرار میگیرد. ولی دراین‌حالت تعادل، فرکانس بحد مقرر نمی‌رسد. برای افزایش فرکانس‌لازم است نقطه A بطور دستی یاخود کار مثلا به کمک یکموتورکوچک d.c. بسمت پائین حرکت داده شود. جابجائی نقطه A سبب ایجاد تعادل‌جدید و افزایش فرکانس‌تاحد مقرر میگردد.

درمدارشکل(۱)، با فرض خطی‌بودن رابطه تغییرفرکانس Δf و جابجائی نقاط B و E، روابط زیر نوشته میشود:

$$\Delta y_c = k_1 \Delta f - k_2 \Delta y_A$$

$$\Delta y_D = k_3 \Delta y_c + k_4 \Delta y_E = 0$$

ازآنجا:

$$\Delta y_E = -\frac{k_3}{k_4}(k_1 \Delta f - k_2 \Delta y_A)$$

$$\Delta y_E = \frac{k_3 k_2}{k_4}\left(\Delta y_A - \frac{k_1}{k_2}\Delta f\right)$$

و بافرض خطی بودن رابطه جابجائی دریچه V (نقطه E) وتغییر توان:

$$\Delta P_1 = k' \Delta y_E \qquad (۱)$$

$$= \frac{k' k_2 k_3}{k_4}\left(\Delta y_E - \frac{k_1}{k_2}\Delta f\right)$$

درصورتیکه جابجائی نقطه A برای تغییر فرکانس ، بصورت تغییر توان بیان گردد ، رابطه (۱) بصورت زیر نوشته میشود:

$$\Delta P_1 = \Delta P_2 - K\Delta f \qquad (۲)$$

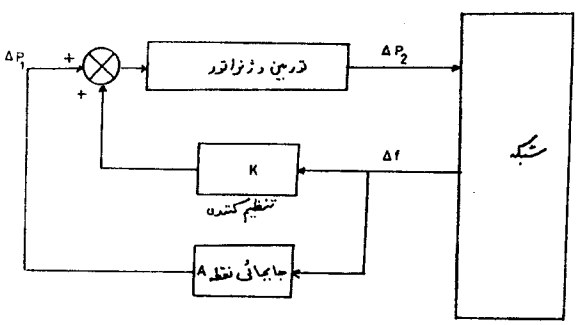
درصورت ثابت بودن نقطه A :

$$\Delta P_1 = -K\Delta f \qquad (۳)$$

در رابطه فوق K مقداری مثبت و بنام الرژی تنظیم کننده خوانده میشود.

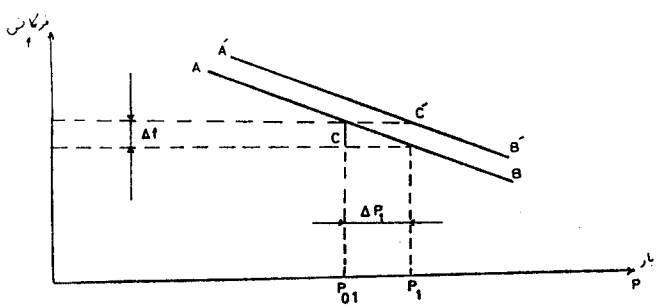
از رابطه(۳) دیده میشود که سیستم تنظیم بدون جابجائی نقطه A ، فقط در ازای کاهش فرکانس توان بیشتری را برای مقابله با ازدیادمصرف ایجاد مینماید و برای ترمیم فرکانس درحالت جدید لازم است نقطه A درجهت مناسب جانجا گردد.

درشکل (۲) مدار بسته سیستم تنظیم خودکار نشان داده شده است.



شکل ۲

طرزکار سیستم تنظیم را میتوان به کمک منحنی بار فرکانس توربین بررسی نمود. درشکل (۳) خطوط AB و A′B′ دومنحنی بار فرکانس توربین در دوحالت مختلف میباشد. نقطه C′ نشان‌دهنده نقطه تعادل نهائی پس از تنظیم است.



شکل ۳

تنظیم دریک شبکه منفرد شامل چندگروه مولد

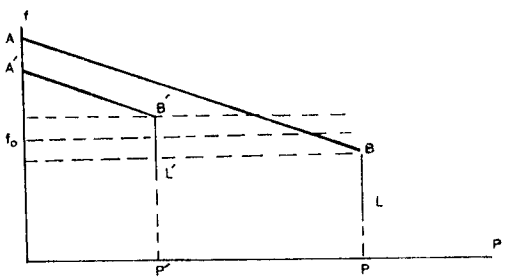
الف ـ تعیین گروههای تنظیم کننده

وقتی یک شبکه توسط چند گروه مولد تغذیه میشود منطقی است که چند گروه مولد تواماً در عمل

تنظیم شرکت کنند. تعیین گروههائی که درعمل تنظیم شرکت میکنندو گروههائی که عمل تنظیم را انجام نمی‌دهند و بعبارتی دیگر سهم هریک ازگروههای مولد باتوجه بملاحظات اقتصادی تعیین میگردد.

برای آنکه مـولدی از عمل تنظیم خارج شود معمولا ازیک دستگاه محدود کننده حرکت دریچه استفاده میشود. با استفاده از این دستگاه حرکت سوپاپ کنترل دریچه ورودی گاز یا بخار آب محدودمیگردد. با نصب این دستگاه میتوان منحنی بار فرکانس را بصورت ABL یا A′B′L′ درآورد. شکـل (٤)

درصورتیکه منحنی بشکل A′B′L′ باشد بازاء تغییرات فرکانس حول f_0 توان خروجی در حد P′ ثابت باقی می‌ماند و چنانچه فرکانس بیش از اندازه کاهش یابد توان خروجی سریعاً کم میشود. در وضع ABL سیستم تنظیم گروه، کار عادی خود را انجام میدهد.



شکل (٤)

بدین ترتیب به کمک دستگاه محدود کننده، منحنی بار فرکانس گروههائی که درعمل تنظیم شرکت میکند و در واقع تنظیم توان شبکه در روی آن‌ها صورت میگیرد بحالت ABL و منحنی سایر گروهها باتوان خروجی ثابت بوضعیت A′B′L′ درمی‌آید.

ب ـ برنامه ریزی تولید

اگر بتوان حتی بصورتی تقریبی، توان تقاضاشده از نیروگاهها را در اوقات مختلف پیش بینی نمود میتوان برنامه‌ای برای گروهها تدوین نموده و کـار گروههای تنظیم کننده را بخوبی کنترل کرد. بطو کلـی تقاضای مصرف غیر قابل پیش بینی میباشدولی این تقاضا را میتوان با تجربه ومطالعه منحنی های بارهفته های گذشته ارزیابی کرد. این منحنی را با درنظرگرفتن روز، هفته، فصل، آب وهوا، شرایط اقلیمی وملاحظات اقتصادی تصحیح نمود وبدین ترتیب برای منحنی بار روزآینده پیش بینی تقریبی بعمل آورد. سپس برای تمام گروههائی که عمل تنظیم را انجام نمی‌دهندبرنامه کاری بمدت مثلا هرده دقیقه یا پانزده دقیقه تعیین نمود. و به کمک این برنامه آن گروه را در حوزه کار با بازده خوب قرارداد.

توان تقاضا شده ازگروههای تنظیم کننده مطابق برنامه، مقداری است که تغییرات غیرقابل پیش بینی شده را تامین مینماید.

دریک شبکه بزرگ باگروههای تنظیم کننده متعدد، قسمت اول تنظیم (تنظیم توان) بصورت وضعی باقی میماند ولی تنظیم فرکانس باید ازیک مرکز واحد فرمان داده شود.

تمرکز دادن این فرمان بدوعلت ضروری میباشد.

الف - فرض میشود عمل تنظیم فرکانس در دونیروگاه A و B مستقلا به کمک دوفرکانس متر انجام شود. این دوفرکانس متر نمی‌تواند عملا بطور مطلق مشابه باشد. مثلا ممکن است فرکانس‌متر متعلق به‌نیروگاه B بمقدار 0.1 سیکل درثانیه سریع‌ترازفرکانس‌متر A کارکند. خطای نسبی دراین‌حالت $\frac{0.1}{50} = \frac{2}{1000}$ است که عملا مقداری ناچیز است.

درهنگام بارگیری هردو فرکانس‌متر، فرکانس راکمتر از 50 سیکل درثانیه‌نشان داده و باتنظیم کننده‌های خود حرکت مولد را تسریع میکند. وقتی فرکانس نیروگاه B به 50 رسید تنظیم کننده آن از کار باز می‌ایستددرحالتیکه تنظیم کننده‌نیروگاه A که فرکانس متر آن برابر 49.9 سیکل را نشان میدهد بعمل خود ادامه داده و فرکانس را افزایش خواهد داد.

از این‌لحظه‌به بعد، تنظیم کننده نیروگاه A حرکت مولد را سریع کرده و تنظیم کننده B سرعت نیروگاه B راکاهش‌میدهد. بدین‌ترتیب توان نیروگاه A افزایش یافته و توان نیروگاه B کاهش‌مییابد. از آنجا لغزش توان از نیروگاه B بسوی نیروگاه A پدید میآید. این لغزش توان همیشه در یک جهت بوده و بطور ثابت (مگردر انحرافات مهم فرکانس) ادامه مییابد. درنتیجه پس از زمان کوتاهی نیروگاه B درصفر و نیروگاه A در وضع حداکثر کارخواهد کرد.

ب - اگر حتی فرکانس مترهای‌دونیروگاه کاملامشابه‌باشد تنظیم کننده‌ها دقیقاً دریک زمان‌عمل نمی‌نماید. درحین تغییرات فرکانس اغلب‌عمل دو تنظیم کننده مخالف یک دیگر بوده و احتمال انطباق کارشان مگر درحین انحرافات بزرگ‌بسیارکم است. بدین‌ترتیب ملاحظه میشود که لازم است عمل‌تنظیم از طریق یک فرکانس متر واحد انجام پذیرد.

در روشی که بنام‌تنظیم (توان - فاز) موسوم است‌میتوان تنظیم فرکانس را بوسیله هرگروه‌تنظیم کننده مستقل ازگروههای دیگر انجام‌داد. این روش ذیلا شرح داده میشود.

تنظیم بروش (توان - فاز)

دراین روش، با تعیین خطای بین اختلاف فاز فشار الکتریکی ویک مولد مقایسه، توان خروجی گروههای تنظیم شونده تصحیح میگردد.

درحالت کلی میتوان فاز را بصورت انتگرال فرکانس نسبت بزمان نمایش داد:

$$\varphi = \int_{t_1}^{t_2} f(t)dt$$

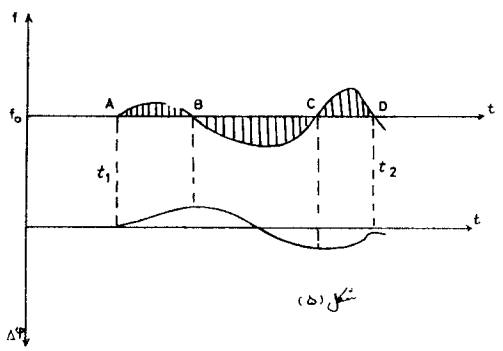
ااز آنجا اختلاف فاز ولتاژ شبکه نسبت به ولتاژ مقایسه از رابطه زیر بدست میآید:

$$\Delta\varphi = \int_{t_1}^{t_2} [f(t) - f_o]dt$$

ویا بافرض : $\Delta f = f - f_o$

$$\Delta\varphi = \int_{t_1}^{t_2} \Delta f\, dt$$

درشکل(٥) مثالی از تغییرات فرکانس و انتگرال آن نشان داده شده است. ملاحظه میشود که $\Delta\varphi$ برابر سطح زیر منحنی ABCD بوده وتغییرات $\Delta\varphi$ نسبت به Δf بصورت کندتری انجام میگیرد. چون منحنی فرکانس بطور مداوم مغشوش است لذا کندتربودن $\Delta\varphi$ ، فرمان با اختلاف فاز را نسبت به فرمان با فرکانس ، پایدارتر مینماید.



شکل (٥)

دراین حالت افزایش فازنشان دهنده کم شدن توان گروههاو کم شدن آن نشانه کم شدن مصرف است. با فرض خطی بودن سیستم فرمان ، معادله تنظیم را میتوان با رابطه زیر بیان نمود :

$$P - P_o + \alpha(\varphi - \varphi_o) = o$$

ویا :

$$\Delta P + \alpha\Delta\varphi = o$$

دراین رابطه :

P توان موثر ماشین یا کارخانه درلحظه t ،

P_o توان برنامه ریزی شده ،

φ مقدار موثرفاز درلحظه t ،

φ_o مقدار فاز مقایسه (در شروع عمل تنظیم برابر صفر) ،

و α ضریبی مثبت و بنام توان تنظیم کننده خوانده میشود. مقدار α یکی ازثابت های سیستم است. درصورتیکه مقدار آن بزرگ انتخاب شود تنظیم سریع تر انجام میگیرد. بزرگ بودن α وقتی ازحدی تجاوز کند سبب ایجاد نوسانات و ناپایداری سیستم خواهد شد.

در حالتیکه n گروه بوسیله تنظیم کننده‌های مختلف فرمان داده شود میتوان نوشت :

$$\Delta P_1+\alpha_1\Delta\varphi_1=0$$
$$\Delta P_2+\alpha_2\Delta\varphi_2=0$$
$$\cdots\cdots\cdots$$
$$\Delta P_n+\alpha_n\Delta\varphi_n=0$$

و چون درشبکه :

$$\Delta\varphi_1=\Delta\varphi_2\cdots=\Delta\varphi_n=\Delta\varphi$$

میباشد ازآنجا :

$$\sum_{i-1}^{n}\Delta P_i+\left(\sum_{i=1}^{n}\alpha_i\right)\Delta\varphi=0$$

است. ملاحظه میشود که تمام این تنظیم کننده‌ها بصورت یک تنظیم کننده واحد با توان تنظیم :

$$\alpha=\sum_{i=1}^{n}\alpha_i$$

که در آن توان تنظیم کلی برابر:

$$\Delta P=\sum_{i-1}^{n}\Delta P_i$$

و معادله تنظیم کل سیستم:

$$\Delta P+\alpha\Delta\varphi=0$$

میباشد عمل مینماید.

برای بررسی بیشتر طرزکار سیستم تنظیم فوق فرض میشود دو نیروگاه با یک توان نامی P_0 وجود داشته و هردو تنظیم کننده با ثابت α مساوی عمل نمایند. فرکانسهای دو نیروگاه برابر f_0 و f'_0 و فاز آن برابر φ و φ' باشد. اگر فاز ابتدائی هردوسیستم برابر φ_0 باشد در فاصله‌زمان t_1 تا t_2 توان‌خروجی نیروگاه شماره ۱ به P و توان خروجی نیروگاه شماره ۲ توسط تنظیم کننده به P' میرسد بطوریکه :

$$P-P_0+\alpha(\varphi-\varphi_0)=0$$
$$P'-P_0+\alpha(\varphi'-\varphi_0)=0$$

از آنجا :

$$P-P'+\alpha(\varphi-\varphi')=0$$

ملاحظه میشود که دراین‌حالت نوعی‌لغزش توان بین دونیروگاه ایجاد شده است. اگر $f_0>f'_0$ یا $\varphi<\varphi'$ باشد این لغزش ازنیروگاه شماره ۲ بسوی نیروگاه شماره ۱ است و مقدارآن :

$$P - P' = \alpha(\varphi' - \varphi)$$

میباشد.

مسلم است که هراندازه دو مولد فرکانس معیار، مشابه باشد این لغزش توان کمترخواهد بود. عملا لغزش فوق قابل پذیرش است بطوریکه عدم تمرکز تنظیم با روش (توان - فاز) امکان پذیر میگردد. بدین ترتیب میتوان در تعداد زیادی نیروگاه حتی در فواصل دور از هم تنظیم کننده‌های توان - فاز را مستقلاً بکاربرد و عمل تنظیم را بصورت اقتصادی‌تری انجام داد.

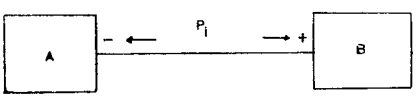
معمولا باند انرژی تنظیم برای کارخانه‌های حرارتی باریک و برای کارخانه‌های هیدرولیکی با ذخیره‌آب، پهن گرفته میشود. بهمین صورت میتوان مثلا بسته به مقتضیات اقتصادی α و P_0 را تغییرداد. بطورکلی باندهای تنظیم باریک مانع اضافه بار خطرناك میشود و با کم کردن باند تنظیم ماشین‌ها و تغییر مناسب P_0 میتوان بعضی از نوسانات را که عموماً برای گروههای هیدرولیکی تا حدود نصف‌توان ماشین میرسد، از بین برد.

تنظیم درشبکه‌های بهم پیوسته

بطورکلی در یک شبکه بهم پیوسته، توان الکتریکی و ظرفیت انتقالی خطوطی که تبادلات را امکان پذیر میسازد نسبت به‌توان کل شبکه کم است. و چون تغییر در توان یک شبکه تغییر توان بقیه شبکه‌ها را سبب میگردد لذا باید توجه‌داشت که‌این‌تغییر توان از حداکثرظرفیت خطوط انتقال بیشترنباشد و توان مبادله درحد برنامه ریزی نگاه داشته شود. این چنین تنظیمی به تنظیم (فرکانس - توان) موسوم است.

تنظیم (فرکانس - توان)

درشکل(٦) دو شبکه A و B که بوسیله‌خط انتقال‌بین دوشبکه بهم پیوسته و توان P_i رامبادله میکند نشان داده شده است.



شکل (٦)

دراین‌مداراگرتوان از A به B صادر شودعلامت P_i مثبت و درصورت عکس منفی فرض‌میشود. و نیز اگر P_0 توان مبادله طبق برنامه باشد صدور انرژی باعلامت مثبت و درصورت عکس با علامت منفی بیان میگردد.

درصورتیکه سیستم‌های تنظیم فرکانس در دو شبکه بطور مستقل عمل کند، توان مبادله یعنی P_i با P_0 اختلاف خواهد داشت و اگر درضمن به مراکز تنظیم کننده در دو منطقه فرمان تصحیح خطا متناسب باانحراف توان:

$$\Delta P_i = P_i - P_0$$

داده شود توان انتقالی برابر توان پیش‌بینی شده خواهدبود ولی فرکانس بمقدار مقرر نمی‌رسد. دراین‌وضع نوع بهترتنظیم آنست که کمیت خطا با انحراف توان ΔP_i و انحراف فرکانس Δf بطور توام مربوط باشد. بعبارت دیگر خطا با رابطه زیر بیان گردد :

$$\Delta e = \Delta P_i + \lambda \Delta f$$

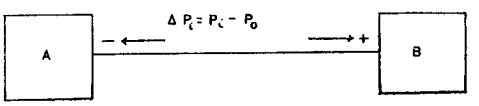
در رابطه فوق λ مقدار ثابتی است که بنام ضریب تنظیم (توان ـ فرکانس) خواند میشود.

تبادل توان بین شبکه‌ها

در دو شبکه A و B شکل (۷) فرض میشود در یک لحظه در هریک از شبکه‌ها در فرکانس مقرر f_0 مقدار تولید P با مقدار مصرف Q برابر باشد بطوریکه :

در شبکه A : $P_1 = Q_1$ با انرژی تنظیم کننده K_1

در شبکه B : $P_2 = Q_2$ با انرژی تنظیم کننده K_2



شکل (۷)

این دو شبکه بوسیله یک خط انتقال بهم اتصال‌دارد. با توجه به تعادل انرژی درهرشبکه ، از خط اتصال بین دوشبکه توانی عبور نمی کند. اگرطبق برنامه قرار باشد که توان P_0 از A به B تحویل گردد توان‌های تولید شده درهرشبکه بقرار زیر خواهد بود :

توان تولید شده درشبکه A : $P_1 + P_0$

توان تولید شده در شبکه B : $P_2 - P_0$

و رابطه زیر برقرار است :

$$P_1 + P_2 = Q_1 + Q_2$$

حال مجدداً دوشبکه A و B متصل بهم و بدون تبادل توان در نظرگرفته میشود.

فرض میشود توان مصرف در شبکه B باندازه ΔQ تغییر کند. در این حالت درمرحله اول‌تنظیم سیستم‌های تنظیم برروی گروههای مولد اثر کرده و توان را افزایش میدهد ولی تعادل بین توان تولیدی و مصرفی درفرکانسی غیراز f_0 و یا در $f_0 + \Delta f$ صورت میگیرد. دراین حال شبکه A توان $P_1 + \Delta P_1$ و شبکه B توان $P_2 + \Delta P_2$ را تولید میکندبطوریکه درمجموع در دو شبکه رویهم:

$$P_1 + \Delta P_1 + P_2 + \Delta P_2 = Q_1 + Q_2 + \Delta Q$$

است .

دراین حالت تغییر فرکانس با رابطه زیربیان میگردد :

$$\Delta f = -\frac{\Delta Q}{K_1+K_2}$$

از آنجا در شبکه A با انرژی تنظیم کننده K_1 تغییر توان برابر است با :

$$\Delta P_1 = -K_1\Delta f = \frac{K_1\Delta Q}{K_1+K_2}$$

و درشبکه B :

$$\Delta P_2 = -K_2\Delta f = \frac{K_2\Delta Q}{K_1+K_2}$$

چون در شبکه A مصرف Q_1 تغییر نکرده است لذا تغییر P_1 بشبکه B منتقل خواهد شد و بدین ترتیب $\Delta P_1 = \Delta P_i$ بوده و از خط رابط دو شبکه توانی برابر :

$$\Delta P_i = \frac{K_1\Delta Q}{K_1+K_2}$$

میگذرد.

چون دراین تنظیم فرکانس برابر Δf تغییر مینماید از آنجا کمیت خطا در روش تنظیم (توان - فرکانس) درشبکه A برابر :

$$\Delta e_1 = \Delta P_i + \lambda_1\Delta f$$

و در شبکه B :

$$\Delta e_2 = \Delta P_i + \lambda_2\Delta f$$

خواهد بود. باتوجه بروابط قبلی و علامت ΔP_i :

$$\Delta e_1 = \Delta Q\left(\frac{K_1-\lambda_1}{K_1+K_2}\right)$$

$$\Delta e_2 = -\Delta Q\left(\frac{K_1+\lambda_1}{K_1+K_2}\right)$$

بدین ترتیب تصحیح فرکانس در دوشبکه متناسب با خطائی برابر روابط فوق انجام میگیرد.

تنظیم با روش (توان ـ فرکانس ـ انرژی)

معادله تنظیم (توان ـ فرکانس) با برابری زیر بیان میگردد :

$$P_i - P_\circ + \lambda(f-f_\circ) = o$$

با فرض :

$$f' = f + \frac{P-P_\circ}{\lambda}$$

تنظیم (توان ـ فرکانس) را میتوان بصورت تنظیم فرکانس :

$$f' - f_\circ = o$$

فرض نمود. در روابط فوق f' یک فرکانس فرضی میباشد.

اگربجای بکاربردن تنظیم کننده فرکانس ، تنظیم فرکانس فرضی مورد استفاده قرارگیرد خطای فاز $\Delta\psi$ وابسته باین فرکانس فرضی برابر است با :

$$\Delta\psi=\int_{t_o}^{t}\Delta f\,dt+\int_{t_o}^{t}\frac{\Delta P_1}{\lambda}\,dt$$

و یا :

$$\Delta\psi=\Delta\varphi+\frac{\Delta W}{\lambda}$$

دراین رابطه $\Delta\varphi$ برابر انتگرال خطای فرکانس واقعی شبکه و ΔW برابر انرژی انتقالی بین دو شبکه و یا بعبارت دیگر در زمان t ، تفاوت‌بین مجموع انرژی مبادله شده روی خطوط اتصالات مختلف بین شبکه از زمان t_o ، و مجموع انرژی‌هائی است که‌میبایست طبق برنامه تبادل شود . بدین‌ترتیب در تنظیم‌متناسب با خطای فاز $\Delta\psi$ رابطه تنظیم بصورت زیر بیان میگردد :

$$\Delta P+\alpha\Delta\psi=o$$

و یا :

$$\Delta P+\alpha\left(\Delta\varphi+\frac{\Delta W}{\lambda}\right)=o$$

تعریف تراز ـ تنظیم با تراز

توان یک گروه مولد (که در عمل تنظیم توان شبکه دخالت دارد) بین یک مقدار حداکثر P_M و حداقل P_m حول مقدار مقرر P_o تغییر میکند .

تفاضل P_M-P_m باند تنظیم گروه نام دارد . با برابری :

$$P_M-P_m=2P_r$$

میتوان نوشت :

$$P_M=P_o+P_r$$

$$P_m=P_o-P_r$$

P_r بنام توان مشارکت در تنظیم نام دارد .

درهرلحظه مانند t ، کمیت :

$$\Delta P(t)=P(t)-P_o$$

تغییرتوان تنظیم یک گروه خوانده میشود . مقدار ΔP میتواند بین $+P_r$ و $-P_r$ تغییر کند .

تغییرتوان ΔP_u یک کارخانه (مثلا متشکل از l گروه مولد تنظیم کننده) و مشارکت‌درتنظیم P_u به‌ترتیب برابر مجموع تغییرات توان l گروه مولد کارخانه و مجموع مشارکت l گروه در عمل تنظیم است :

$$\Delta P_u = \sum_{i-1}^{l} \Delta P_i$$

$$P_u = \sum_{i-1}^{l} P_i$$

از آنجا تغییرات توان ΔP_u یک مرکز که m کارخانه تنظیم کننده را کنترل مینماید :

$$\Delta P_d = \sum_{i-1}^{m} \Delta P_{ui}$$

$$P_d = \sum_{i-1}^{m} P_{ui}$$

بهمین ترتیب اگر n گروه تنظیم کننده‌درتمام شبکه موجودباشد تغییرات توان ΔP و مشارکت در تنظیم آنها P_r برابر است با :

$$\Delta P = \sum_{i-1}^{n} \Delta P_{di}$$

$$P_r = \sum_{i-1}^{n} P_{di}$$

معادله تغییر توان هرتنظیم کننده i برابر است :

$$\Delta P_i + \alpha_i \Delta \psi = o \qquad (1)$$

دراین رابطه $\Delta \psi$ در مورد تنظیم فرکانس در شبکه مجرا ، برابر انتگرال انحراف فرکانس بین فرکانس f شبکه و فرکانس مقرر f_o است. درمورد تنظیم توان انتقال یافته بین شبکه‌ها این خطا برابر انتگرال انحراف بین فرکانس فرضی f' وفرکانس مقرر f_o میباشد. در رابطه فوق ΔP_i و α_i کمیات مربوط به گروه i میباشد.

در مورد تمام n گروه مولد درشبکه توان برنامه‌ریزی شده بین گروه‌ها برابر :

$$\sum_{i-1}^{n} P_{oi} = P_o$$

و توان لحظه‌ای کل گروه‌ها :

$$\sum_{i-1}^{n} P_i = P$$

است وتغییر توان :

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta P_i = \Delta P$$

و ضریب توان تنظیم کننده :

$$\alpha = \sum_{i=1}^{n} \alpha_i$$

میباشد.

بدین‌ترتیب معادله تنظیم برای این مجموع بصورت زیر نوشته میشود :

$$\Delta P + \alpha \Delta \psi = o \qquad (۲)$$

مشاهده میشود که بنابر رابطه فوق مجموعه n گروه معادل یک‌گروه با توان مقرر P_o بوده و متناسب با خطای $\Delta\psi$ توان آن باندازه ΔP تغییرمینماید.

مسلم است که مقدار حداکثر جمله $\alpha\Delta\psi$ برابر P_r است. با نوشتن رابطه (۲) بصورت :

$$\frac{\Delta P}{P_r} = -\alpha \frac{\Delta \psi}{P_r}$$

و با فرض:

$$N = -\alpha \frac{\Delta \psi}{P_r} \qquad (۳)$$

میتوان نوشت :

$$\frac{\Delta P}{P_r} = N \qquad (٤)$$

N بنام تراز خوانده میشود.

ملاحظه‌میشود که‌اگرتوان‌هرماشین طبق‌رابطه(٤) تنظیم شود نتیجه معادله(۱) درموردآن‌صادق است و تمام n ماشین طبق رابطه (۲) تنظیم میگردد. بدین‌ترتیب برای تمام ماشین‌هائی که در عمل تنظیم دخالت دارند اطلاع ازکمیت N کافی است و پس از ارسال N ، هرگروه وظیفه خود را در عمل تنظیم برابر رابطه زیر انجام میدهد :

$$\Delta P = N P_r$$

بدین‌ترتیب‌پس از محاسبه و تعیین N بفرستان فرمان‌های مختلف دیگر برای مراکز تولید مختلف وایجاد تعادل بین کارخانه‌ها ، نیازی نخواهد بود.

در تاسیسات‌تنظیم از راه دور معادله تنظیم‌که با رابطه (۲) داده شده است با افزودن جمله‌ای متناسب با خطای فرکانس Δf یا Δe تعمیم داده میشود :

$$\Delta P+\alpha\Delta\psi+\beta\Delta e=o$$

ویا :

$$\frac{\Delta P}{P_r}+\frac{\alpha\Delta\psi+\beta\Delta e}{P_r}=o$$

از آنجا جمله تراز حقیقی بصورت رابطه :

$$N=\frac{-\beta\Delta e}{P_r}-\frac{\alpha\Delta\psi}{P_r}$$

بدست میآید .

ملاحظه میشود که N مجموع دوجمله :

$$N_1=-\frac{\alpha\Delta\psi}{P_r}$$

$$N_2=-\frac{-\beta\Delta e}{P_r}$$

و یا :

$$N=N_1+N_2$$

است . در برابری فوق N_2 متناسب با خطای (فرکانس ـ توان) وقتی ظاهر میشود که این خطا موجود باشد و با از بین رفتن آن صفر میگردد . درصورتیکه جمله N_1 متغیر است و وقتی عمل تنظیم خاتمه می‌یابد بسمت مقداری ثابت میل میکند .

بدین ترتیب وظیفه تنظیم کننده درسطح کشور به تولید دو جمله تراز N_1 و N_2 برمبنای داده‌های گرفته شده از سراسر کشور و ارسال آن بتمام نیروگاهها از طریق مرکز خلاصه می گردد . سیستم دریافت داده‌ها از سراسر کشور ، اعمال خودکار و محاسبات روی آن و تولید جمله تراز و ارسال متقابل آن را بسراسر کشور در یک مرکز فرمان قراردارد . وتمام عملیات فوق بکمک ماشین های کمپیوتر انجام می‌پذیرد .