

自家発電設備レクチャー

第6回「発電設備の並列運転について」

自家発電設備に関するエキスパートの方々から、設計、施工及び保全の各分野について、常日頃見落としがちな実務上の要点について講義頂く「発電設備レクチャー」の第6回。9月号は「**発電設備の並列運転について**」と題して、三菱電機株式会社の平松一郎さんに講義頂きました。

1. はじめに

自家発電設備の並列運転及び系統連系運転については、平成29年度自家用発電設備専門技術者テキスト(以下「テキスト」)2-98、2-99に基本的な内容が記述されています。他にも3-39、3-102に関連した記述があります。

今回は並列運転に必要な基本条件や同期投入、負荷分担などについて、テキストに記述されている内容をまとめて整理し補足する形で紹介します。

2. 並列運転の基本条件

複数台の同期発電機を並列運転するための条件は、テキスト2-98に記載されているように、①電圧が等しいこと、②周波数が等しいこと、③位相が等しいこと、これらの条件が満たされていなければなりません。

①の電圧が等しくない場合（発電機の端子電圧に差がある場合）は、発電機相互間に横流と呼ばれる無効電流が流れます。この無効電流により発電機機子の異常過熱や低励磁現象が生じます。

この無効電流を防止し、発電機の無効電力分担を行うために並列運転を行う場合は、横流補償装置が設けられています。

②の周波数が等しくない場合は、有効横流が流れます。この電流は、発電機相互間で有効電力を授受する作用をもたらします。周波数差が小さい場合は同期化力により有効横流もゼロになりますから、有効電力の授受の作用もなくなり、最終的には同じ周波数（回転数）で並行運転を続けますが、周波数差が大きすぎると脱調して並列運転を行うことができなくなります。

③の位相が等しくない場合も、②と同様に同期化電流が流れます。位相差が小さいと最終的には同じ位相で並列運転を続けますが、位相差が大きいと過電流継電器が動作して発電機が解列したり、乱調によって並列運転が継続できない状態になります。

(テキスト3-102参照)

前述の①～③の条件に加え、発電機を駆動する原動機の種類も並列運転条件として重要です。

原動機の種類は装着される調速機の種類により決まりますが、並列運転を行う場合はそれぞれの速度特性を極力一致（完全に一致させることは難しい）させ、適度な垂下特性（ドロップ特性）を持つておく必要があります。

図1は異なる速度特性を持つA号機とB号機が50%の負荷で分担が平衡している状態を示したのですが、この状態で75%負荷点まで負荷が増加した場合、平衡状態は崩れ、A号機は負荷を多く、B号機は負荷を少なく分担することになります。

この不平衡を生じさせないために後述の自動負荷分担装置により、それぞれの調速機に対し、増又は減信号を与えて調整し、ドロップ特性を平行移動させ、発電機の過負荷や逆電力を防止します。

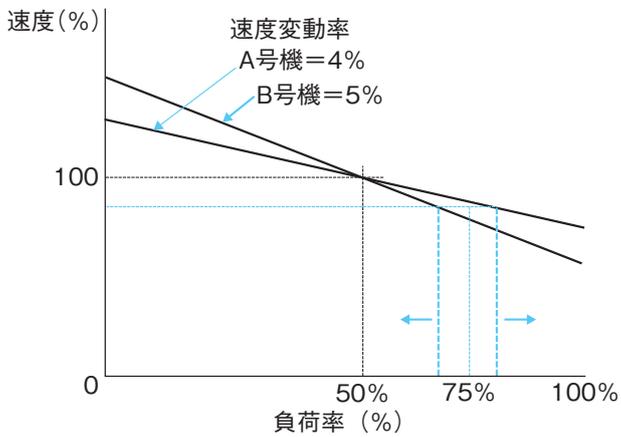


図1 速度特性の違いと負荷率

3. 同期投入

前述の条件（電圧・周波数・位相）が一致しているかを確認する目的で、一般的に同期盤などに設置される装置が同期検定器になります。発電機を同期投入するための方式には、手動方式と自動方式があります。

手動同期投入方式は、テキスト2-98に記載のように、運転員が電圧計・周波数計を見ながら、自動電圧調整器（AVR）の電圧調整（90）及び調速機（速度調整（65）を行うと、同期検定器の指針動作が緩慢になってきます。同期検定器は指針がちょうど真上（時計の零時の点）に来た時が位相一致した点になりますので、この同期点で遮断器が投入するタイミングを見計らって、同期点の少々手前で遮断器の操作スイッチを操作して投入させます。一般的には位相差 $\pm 5^\circ$ 以内であれば問題ないと言われています。

自動同期投入方式は、運転員が行う操作を全て自動的に行う機能を有した自動同期投入装置により行います（テキスト2-98参照）。

この場合は、電圧調整及び調速機（速度調整）は同期投入装置からの信号により制御されますので、AVRの電圧調整（90）、調速機（速度調整（65）は電動機駆動のものとする必要があります。

ただし、系統との並列運転がなく、発電機同士の並列の場合は、電圧が大きく変動することはありませんので、調速機のみ電動での制御を行っても問題

ありません。

なお、自動同期投入方式を採用しても、手動方式の回路をバックアップとして設けることが一般的です。

4. 負荷分担

同期投入が完了したら、調速機操作により負荷を移行させることで並列運転に入ります。母線側（先行機）の調速機を減方向に、同期投入した発電機の調速機を増方向に操作することにより徐々に負荷が移行し、負荷分担を行います。

並列運転中に負荷が増減した場合も同様に調速機の操作により負荷分担を行います。

図2でドループ特性と負荷分担について説明しますと、定格周波数 f_0 で運転しているA機、B機が並列運転してA機が100%、B機が50%の負荷を分担している場合に、負荷増加により75%ずつ均等に分担させる場合は、A機の調速機を減、B機を増の方向に同時に変化させ、それぞれ定格周波数 f_0 との交点 a' 及び b' に合わせることで両機の負荷は均等に分担されます。

（テキスト3-39参照）

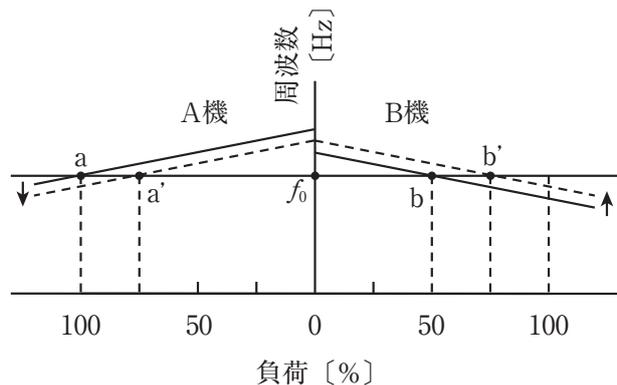


図2 ドループ特性と負荷分担

このように各発電機が同じ比率で負荷を分担するように調速機を自動で制御する装置を自動負荷分担装置といい、発電機の定格出力が同じであれば同じ電力を分担、定格出力が異なる場合はそれぞれの定格出力に対する電力の割合（%）が同じになるよう

に制御します。

5. 商用電源システムとの並列運転

同期発電機が並列運転を行う場合、各発電機の端子電圧に差があると、相互間に無効電流が流れるため、これを防止し、かつ発電機の無効電力分担を行うために、前述の2項目の「並列運転の基本条件」で述べたように横流補償装置が設置されます。

端子電圧の高い発電機にとっては無効横流が流れ遅れ力率となるため、この装置が発電機端子電圧を減少するように動作します。逆に進み力率の場合には端子電圧を上昇させるように調整します。

同期発電機は図3のように各部の温度上昇限度などから決まる運転許容限界があります。この限界を示す曲線を発電機の出力可能曲線と呼びます。

(テキスト3-101参照)

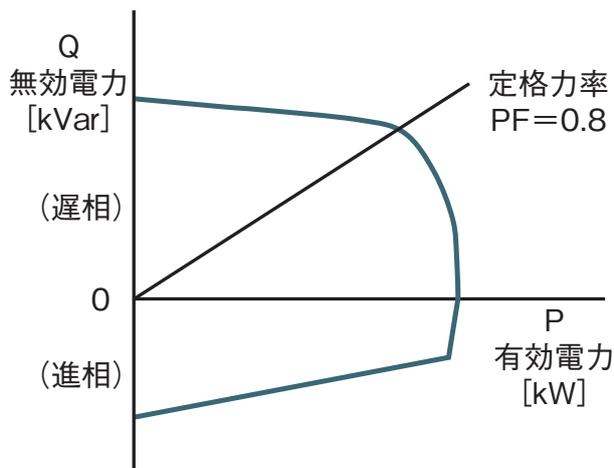


図3 発電機出力可能曲線

この曲線内で発電機が運転するように制御を行う必要がありますが、商用電源システムと発電機が並列運転を行う場合、電力会社のシステムは非常に大きな容量を持った発電機とみなされ、発電機の端子電圧はシステムの電圧によって支配されます。

このため、例えばシステムの電圧が低下すると発電機は電圧を維持しようとAVRの動作が極限に達するまで働き続け、発電機は無効電力の増加で過電流に

なってしまいます。このように、AVRと横流補償装置による電圧要素の制御のみではシステムと協調した運転ができないため、無効電力あるいは力率をある範囲に制限する機能を設ける必要があります。

この制御を行う装置として、図4に示すようにシステムとの安定した連系運転を行うために、発電機力率を予め設定した範囲内に保つように制御する力率限定機能や、図5に示すように設定力率に対し、発電機電圧を制御（界磁電流を制御）することで有効電力と無効電力を調整し、発電機力率を一定値に保つように制御する力率一定制御機能を設けたりします。

なお、安定した連系運転を行うには、省令における技術基準や、資源エネルギー庁制定の「電力品質確保に係る系統連系技術ガイドライン」を基に、設置者と電力会社間で十分な協議が必要なことは言うまでもありません。

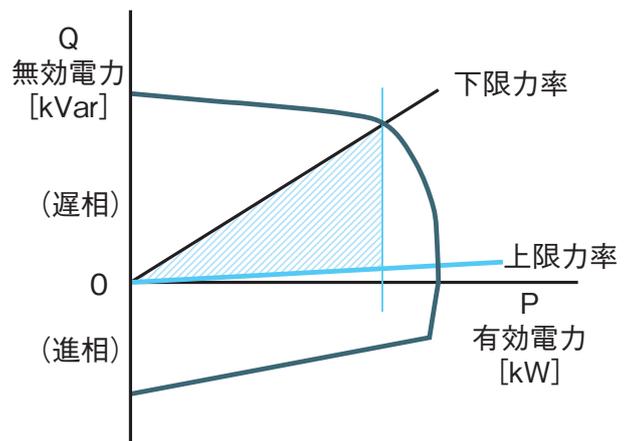


図4 力率限定機能

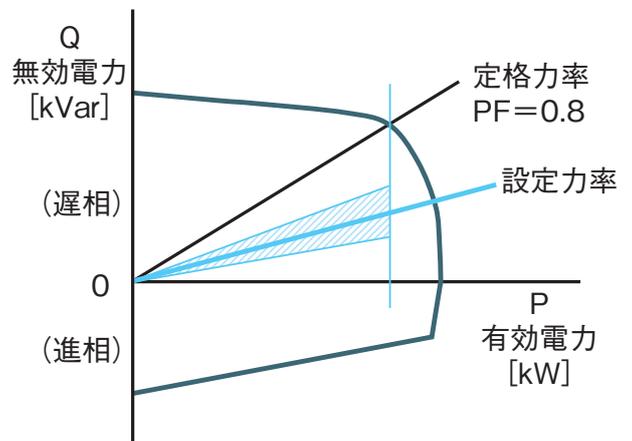


図5 発電機力率一定機能