

自家発電設備レクチャー

第7回「発電機の構造・性能について」

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7回。今月号は「発電機の構造・性能について」と題し、株式会社日立製作所の佐藤修二さんに講義頂きました。

1. はじめに

自家発電設備は構成する機器の組み合わせ等により様々なシステムが考えられますが、各機器の特徴を把握した上で、設置の目的に応じた最適なシステムを構築する必要があります。今回は自家発電設備の主機である発電機に関する内容について、平成30年度自家用発電設備専門技術者テキストの記述内容に補足する形で紹介致します。

2. 発電機の種類

交流発電機には大別すると同期発電機と誘導発電機があり、自家発電設備には主に同期発電機が使用されています。誘導発電機は誘導電動機と同じ構造であり構造が簡単なことや系統との同期運転が容易であることから、風力発電や小水力発電設備等に採用されていますが、系統から励磁電源を必要とするため系統に接続して運転する常用発電設備に限定されます。商用電源停電時に運転する非常用発電設備には自立運転が可能な同期発電機が採用されます。以下は同期発電機について説明します。

同期発電機の極数と回転速度は周波数と選定する原動機仕様によりおのずと決定されます。原動機がディーゼル機関の場合は小容量のものは比較的高速であるため2極または4極が採用され、容量が増大するに従い原動機の回転速度が低速となるので発電機は多極機となってきます。またガスタービンが原動機の場合は高速なので、減速機を介し発電機側の回転速度をほとんどの場合 1500min^{-1} または 1800min^{-1} としているため4極が採用されます。

同期発電機の構造の例（回転界磁突極形、4極、ブラシレス励磁方式）を図1に示します。

同期発電機の回転子構造には回転界磁突極形と回転界磁円筒形があり、それぞれの特徴から前述のディーゼル機関の低速・多極機には突極形が、ガス

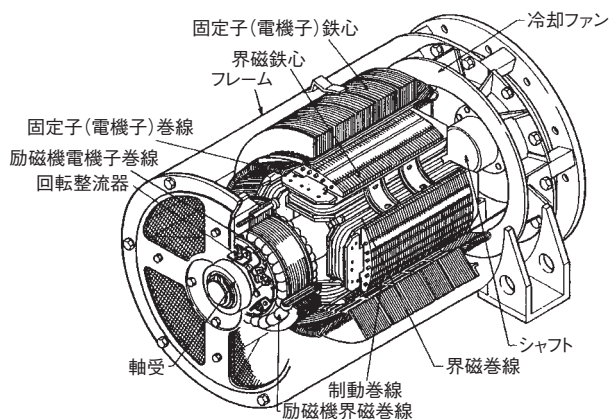
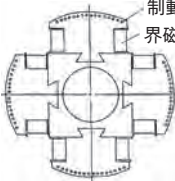
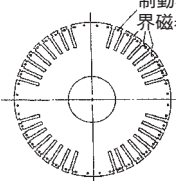


図1 同期発電機の構造例
(回転界磁突極形、4極、ブラシレス励磁方式)

タービン等の高速・大型機には円筒形が用いる場合が多くなります。(2極の場合は原動機によらず円筒形が採用されます)

突極形と円筒形の主な比較を表1に示しますが、電気特性においてはそれぞれの優劣はあるものの個別の設計により対応可能な範囲です。

表1 突極形と円筒形の比較

項目	突極形	円筒形
構造例(断面)		
体格(耐遠心力)	界磁巻線が集中巻きのため巻線の冷却性が悪く体格が大きくなる(耐遠心力の制限から高速機で不利)	界磁巻線が分布巻きのため巻線の冷却性が良く体格が小さくできる(耐遠心力への応力集中箇所が少なく高速機で有利)
短絡比(同期インピーダンス)	やや大 (同期インピーダンスがやや小さい)	やや小 (同期インピーダンスがやや大きい)
界磁時定数(電圧回復時間)	やや長い (負荷急変時の電圧回復時間がやや長い)	短い (負荷急変時の電圧回復時間が短い)
励磁容量(発電機効率)	小 (発電機効率はやや高)	大 (発電機効率はやや低)

3. 負荷設備による発電機選定時の 注意点等

発電機の定格出力を選定する場合、非常用では消防庁通達による出力算定法に従い(一社)日本内燃力発電設備協会発行の出力算定ソフトウェアNH1を用いることが多いと思いますが、出力算定式とは別に検討を要する設備が発電機に接続される場合がありますので、受配電設備全体システムを含め発電機運用に問題が生じないか事前に確認する必要があります。発電機に影響を及ぼす可能性があり注意が必要な負荷設備等について以下に示します。

(1)大容量の変圧器が投入される場合

発電機遮断器を投入した際に負荷側の変圧器が接続される場合には変圧器に大きな励磁突入電流が発生します。発電機定格容量に対して大きな容量の変圧器が投入される場合には、励磁突入電流による発電機電圧低下や過電流保護装置の動作等の影響を検討する必要があります。

(2)不平衡負荷

発電機負荷が不平衡負荷になる場合には、発電機に逆相電流が流れることにより電機子巻線や界磁巻線の温度上昇増大や回転子にある制動巻線の過熱を招く可能性があります。JEM(日本電機工業会規格)1354では許容逆相電流として15%と規定されています。

(3)高調波発生負荷がある場合

発電機の負荷として高調波電流を発生する整流器負荷(インバータ、UPS等)が接続されると、不平衡負荷と同様の現象で温度上昇等を招くため、等価逆相電流として換算して制限する必要があります。また、高調波電流による発電機の出力電圧の波形ひずみが生じ、自励式の励磁方式の場合には自動電圧制御等に影響が生じる場合があるため、発電機に影響がないように負荷側の高調波電流を抑制するか、高調波発生負荷に対する発電機容量や他励式の励磁方式等の対応を検討する必要があります。

(4)進相コンデンサがある場合

発電機に力率改善用進相コンデンサ等の進み力率負荷を投入した場合、発電機の進み電流による増磁作用により界磁を強めて発電機端子電圧を上昇させる現象が生じ、過電圧保護装置の動作に至る場合があります。原則として非常用電源負荷には単独で進相コンデンサは接続されないよう計画する必要があります。

(5)正弦波インバータ制御の負荷がある場合

モータ負荷の正弦波インバータ(PWM制御コンバータ付インバータ)制御方式は、高調波電流が抑制でき高力率で運転できるため近年採用する機会が増えていますが、発電機で運転する場合においては、発電機側電圧・周波数変動に伴う正弦波インバータ側の位相制御等によるインバータ故障が発生し負荷を運転できない場合があります。発電機での運転に対応できる正弦波インバータの負荷容量、仕様等であることを事前に確認する必要があります。

4. 発電機の電圧制御

発電機の電圧制御内容として初期励磁と自動電圧調整器(AVR)について説明します。

自励式のブラシレス励磁方式の場合の回路例を図2に示します。

(1)初期励磁

自身の発電機出力を励磁装置電源とする自励式の場合、発電機立ち上がり時(原動機始動時)において外部の直流電源により初期励磁をする必要があります。初期励磁により発電機界磁巻線に励磁電流が流れ発電機電圧が発生し定格電圧まで電圧確立します。初期励磁電源は通常は配電盤の直流制御電源より供給されます。

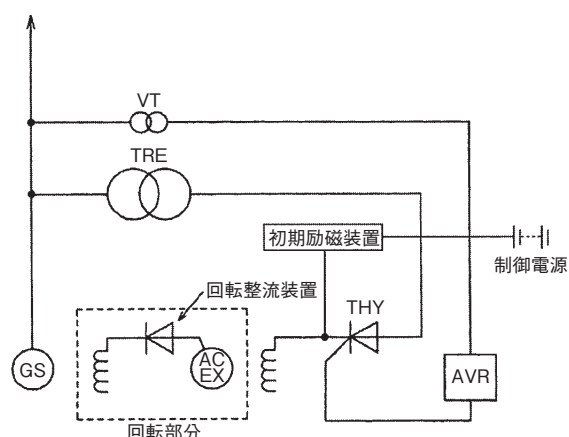


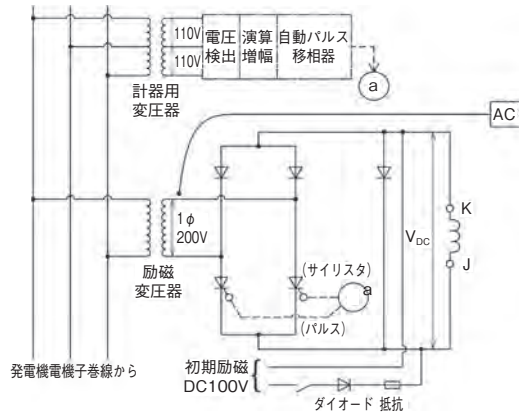
図2 自励式ブラシレス励磁方式の回路例

(2)自動電圧調整器(AVR)

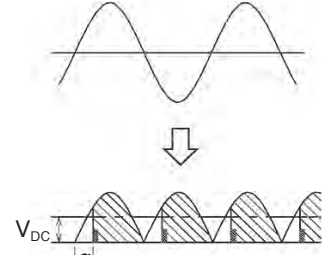
発電機界磁電流一定とした場合、負荷電流の大きさにより発電機端子電圧が変化するため、負荷電流に応じ界磁電流の大きさを制御して発電機電圧を一定に制御する自動電圧調整器(AVR)が必要になります。AVRの代表例として、整流方式にサイリスタを用いたサイリスタ点弧位相を制御するサイリスタ式AVRの回路例を図3(17ページ)に、トランジスタを用いたPWM制御するトランジスタチョップ式AVRの回路例を図4(17ページ)に示します。トランジスタチョップ式は外乱の影響を受けにくく、高調波発生負荷が多い場合等に採用される場合が多くなります。これら以外にも負荷電流による補償機能を有した複巻式や永久磁石発電機(PMG)を使用した他励式のPMG方式等様々な方式があります。

5. 最後 に

以上、自家発電設備の構成機器の主機である発電機に関連した内容についてテキストの補足内容として紹介しました。自家発電設備のシステム設計をする上で、設置目的に応じた最適な設備となるように構成機器等を選定し、関連する他設備や設置環境、法令等の多岐に亘る確認や検討が必要になってきます。

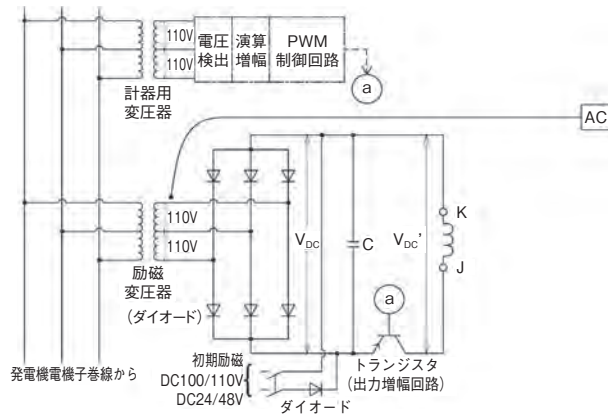


AVR入力電圧波形（発電機出力から）

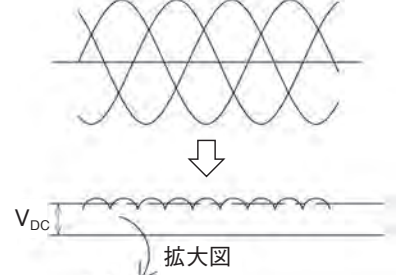


AVR出力電圧波形（交流励磁器界磁巻線へ）

図3 サイリスタ式AVRの回路例



AVR入力電圧波形（発電機出力から）



AVR出力電圧波形（交流励磁器界磁巻線へ）

図4 トランジスタチョッパ式AVRの回路例

