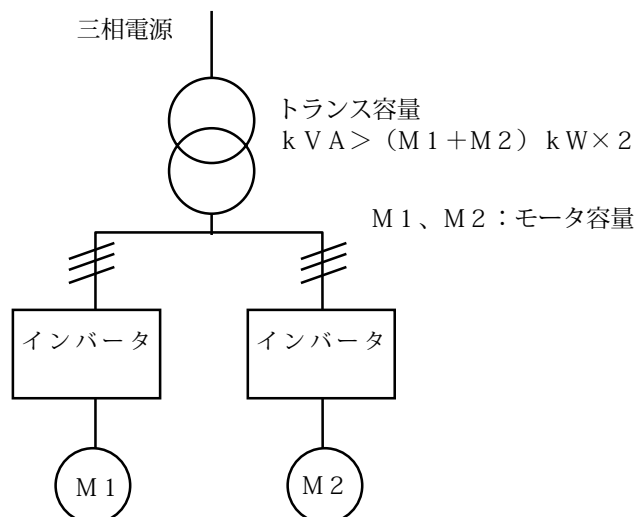


5.2 電源設備と機器

電源側にトランスを使う場合

■ 電源トランス容量

トランスの電圧降下を±10%以内（インバータ入力電源電圧の許容変動率）に抑えるためには、モータ容量（kW）に対し、トランスは約2倍以上の容量（kVA）が必要となります。



■ 高調波電流によるトランスへの影響

- ・トランスの検討項目

インバータは電源側に高調波電流を発生します。このような場合、電源トランスの選定に当たって次の検討が必要となります。

- 1) 所要容量の検討
- 2) インバータ投入時の突入電流並びに、それに伴う電圧降下を考慮した選定
- 3) 高調波電流に伴う変圧器の損失を考慮した選定

- ・トランスの容量の選定

簡易計算として次のようになります。

- (1) 所要容量の選定

- ・インバータの入力容量PIは次式で表されます。

$$PI \text{ (kVA)} = P_o \times \frac{PF_o}{\eta_I \times PF_I} \times 100$$

$$= \frac{M}{\eta_M \times PF_M} \times 100 \times \frac{PF_o}{\eta_I \times PF_I} \times 100$$

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| P_o : インバータ出力容量 (kVA) | PF_I : インバータ入力力率 (%) |
| PF_o : インバータ出力力率 (%) | M : モータ容量 (kW) |
| η_I : インバータ効率 (%) | η_M : モータ効率 (%) |
| (約 90~97%) | PF_M : モータ力率 (%) = PF_o |

・定速モータの変圧器容量

$$PM = \frac{P_M(\text{kW})}{\eta_M \times PF_M} \times 100 (\text{kVA})$$

また、電動機で直入始動するなどの場合は、電圧変動（±10%以下）を考慮して下式のように変圧器の容量を大きくする必要があります。

$$\begin{aligned} \text{変圧器の容量 (kVA)} &\geq \frac{P_M(\text{kW})}{\eta_M (\%) \times PF_M} \times 100 \\ &\times (P \times \cos \phi_{st} + Q \times \sin \phi_{st}) \times \frac{V}{E_2 - V} \times \frac{E_2}{V_0} \end{aligned}$$

| | | |
|---|---|-----------------------------|
| } | P: 配線を含めた変圧器の%抵抗降下 | V ₀ : 電動機の定格電圧 |
| | Q: 配線を含めた変圧器の%リアクタンス降下 | V: 始動時の入力電圧 |
| | cos φ _{st} : 始動時の力率、sin φ _{st} = √(1 - cos φ _{st}) ² | E ₂ : 変圧器の定格二次電圧 |

(2) インバータ投入時の突入電流並びに、それに伴う電圧降下に対する検討

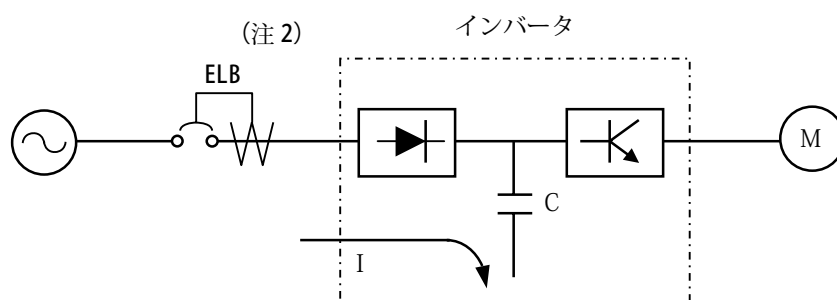
インバータ投入時には、下図に示す直流側のコンデンサへ充電電流が流れます。

この大きさは回路定数により決定されますが、一般的には定格電流の 2~4 倍に仮定して検討します。

(注1) (ただし、電源インピーダンスにより異なります。)

インバータ投入時の電圧降下を 10% 以内に抑えようとすると、電源変圧器容量はインバータの定格入力容量 PI の 1.5 倍以上必要となります。

(ただし、加速時はソフトスタートを行うため、モータの直入始動電流は流れません。)



注1) 実際は電源投入時、数 msec の間、数十~数百倍の突入電流が流れますが、短時間のため影響はありません。

注2) ELB 等は標準適用器具及びケーブルサイズを参照の上設置します。

(3)高調波電流による変圧器の損失は、次式で表わされます。

$$\text{(損失)} W = WR + WE = \sum (In)^2 \times R \times (1 \pm \beta \times n^m)$$

〔 WR は周波数に関係ない抵抗損失
WE は負荷電流と周波数のほぼ 2 乗に比例する浮遊損失 〕

ここで、負荷損失と同じ損失を与える等価基本波電流（商用周波数）を I_e 、等価容量係数を K_p と定義します。

$$I_e = K_p \times I_1$$

となり、負荷損失の見地から変圧器の負荷電流が K_p 倍増えたことと同等と見ます。

したがって、変圧器の容量に余裕がない場合は、高調波電流の流入により負荷電流を $1/K_p$ に下げて使用する必要があります。

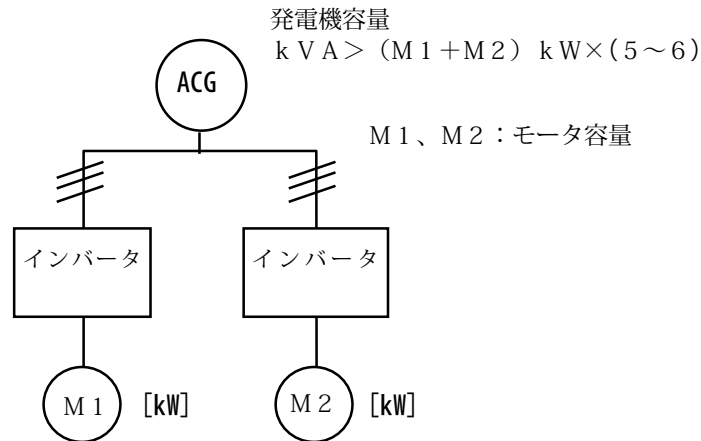
K_p は変圧器の仕様及び高調波の余裕率により異なりますが、モータ容量（kW）の 1.3～2 倍と考えます。

なお、インバータ使用時の変圧器容量についての詳細は、各変圧器メーカーへご確認ください。

自家発電電源を使う場合

■ 自家発電容量

三相交流発電機の許容等価逆相電流を規格値（JEMA-1354、15%以内）に抑える場合、モータ容量（kW）に対する発電機は、約5～6倍の容量（kVA）が必要になります。



1. 高調波電流の発電機への影響について

発電機の負荷としてインバータ等高調波電流を発生する負荷を接続すると、界磁巻線・制動巻線に高調波電流が誘起し、この結果界磁巻線、制動巻線の損失分が増加し加熱現象が発生します。更に焼損事故に至る恐れがあります。このような場合、従来一般化している非常用発電機容量決定のみでなく、次に示す「等価逆相電流」の検討が必要になります。

2. 許容高調波電流

発電機に逆相分を含んだ電流を通電すると逆相電流による回転磁界は回転子と反対方向に、かつ回転子と同一速度で回るので回転子回路には、2倍の周波数の電流を流すことになり損失が増加します。発電機に対する高調波の影響は、発電機へ逆相電流を流したと同様に考えられ、高調波を「等価逆相電流」におきかえこの値を許容高調波電流として規制されます。

3. 等価逆相電流 (I_{2eq})

等価逆相電流は、発電機巻線に発生する高調波電流により以下の式にて求められます。

$$\sum k \times \sqrt{f_n} \times I_n^2 = K \times \sqrt{f_2} \times (I_{2eq})^2 \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

| | |
|--|---|
| f _n ：高調波周波数 = n × f ₁ (Hz) | I _{2eq} ：逆相電流 (%) |
| n：高調波次数 | f ₂ ：逆相周波数 = 2 × f ₁ (Hz) |
| I _n ：高調波電流 (%) | k：係数 |
| f ₁ ：発電機の基本周波数 (50/60Hz) | |

①式より I_{2eq} を求めると次式となります。

$$I_{2eq} = \sqrt{\frac{\sum}{n} \frac{n}{2} \times I_n^2} \dots\dots\dots ②$$

| |
|-------------------------------------|
| $n=6$ 、 $I_6 = I_5 + I_7$ |
| $n=12$ 、 $I_{12} = I_{11} + I_{13}$ |
| $n=18$ 、 $I_{18} = I_{17} + I_{18}$ |

4. 許容等価逆相電流

3 相交流発電機の許容等価逆相電流は発電機の機種で異なることがありますが、一般用途に使用される交流発電機の場合は、JEMA-1354 により 15%以下と規格化されています。

| | | |
|-------------|-------|-------------|
| (1)凸極形交流発電機 | …………… | 定格電流の 15%以下 |
| (2)円筒形交流発電機 | …………… | 定格電流の 10%以下 |

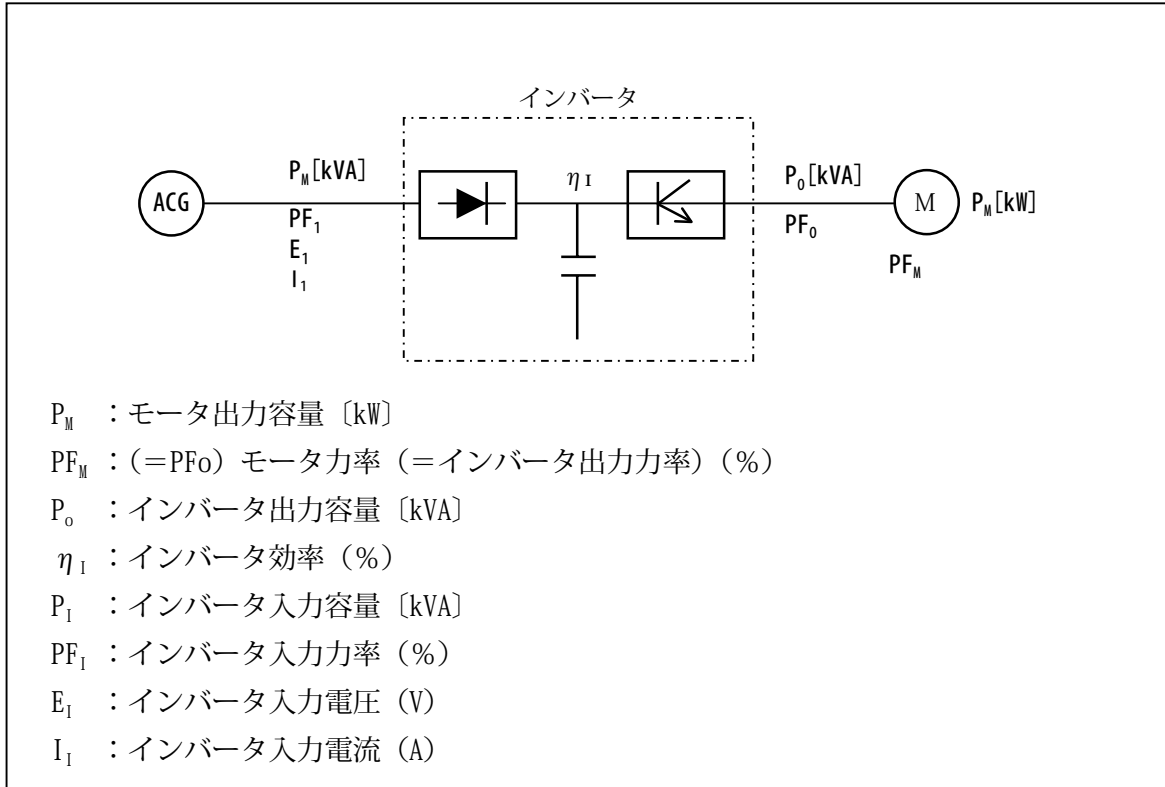
5. 許容発電機容量について

以上の事により、インバータ負荷のある場合、発電機容量は前項によって計算し、その許容値を満たす必要があります。

モータ容量に対し必要とする発電機容量は、次のとおり求められます。

(1)基本波インバータ入力電流の算出

下図に示されたインバータの回路図において、入力容量 P_1 と出力容量 P_o の関係は下式で表わされます。



$$P_1 \text{ (kVA)} = \sqrt{3} \times E_1 \times I_1 = P_o \text{ (kVA)} \times \frac{PF_o}{\eta_1 \times PF_1} \dots\dots\dots ③$$

また、インバータの出力容量 P_o (kVA) はモータの容量 P_M (kW) とモータ効率 η_M 及び力率 PF_M により次式で表わされます。

$$P_o \text{ (kVA)} = \frac{P_M \text{ (kW)}}{\eta_M \times PF_M} \dots\dots\dots ④$$

③④式によりインバータの入力電流（基本波分） I_1 は次式で求められます。

$$I_1 \text{ (A)} = \frac{P_M}{\eta_M} \times \frac{1}{\eta \times PF_1} \times \frac{1}{\sqrt{3} \times E} \dots\dots\dots ⑤$$

ここで、

$$PF_1 = \frac{I_1}{I_S} \times \cos \psi_1$$

$$\left[\begin{array}{l} \cos \psi_1 : \text{基本波力率} \approx 1 \text{ (コンデンサインプットの場合)} \\ I_S : \text{全実効電流} = \sqrt{\frac{\sum I_n^2}{n}} \end{array} \right]$$

また一般的に

$$\eta : \text{インバータ効率 } 95 (\%)$$

(2)等価逆相電流 I_{2eq} から許容される発電機容量

前述②式及び⑤式より I_{2eq} を求め、次に発電機に許容される等価逆相電流を 15%以下に抑えることから発電機容量 P_2 は次式にて表わされます。

$$P_2 \text{ (kVA)} = \sqrt{3} \times E_1 \times (I_{2eq}/0.15) \times 10^{-3} \dots \dots \dots \text{⑥}$$

(3)計算例

インバータについて電源インピーダンスを 5%程度とした場合、計算結果より発電機容量はモータ容量 (kW) の 5~6 倍 (推奨 6 倍) が必要になります。