



Особливістю такої ДСОГ є керування швидкістю обертання привідного двигуна залежно від сумарного навантаження електричних мереж. Основу ДСОГ становить каскадний генератор, який може генерувати як змінний, так і постійний струм. Ці машини пов'язані з привідним двигуном за допомогою диференціального редуктора. Стабілізація швидкості обертів КГ зі змінюванням швидкості обертів привідного двигуна здійснюється за рахунок відповідної зміни швидкості обертів вала генератора змінної частоти. Стабільна робота диференціального редуктора без перерозподілу швидкостей його вихідних валів можлива за умови балансу моментів каскадного та синхронного генераторів.

Особливістю конструктивного виконання каскадного генератора є об'єднання в одному корпусі та на одному валу одноякірної і асинхронної частин. Одноякірну частину виконано на базі машини постійного струму з відпайками від колекторних пластин, що дозволяє сформувати  $m$ -фазну систему змінного струму, а асинхронну частину виконано як асинхронну машину з  $m$ -фазним ротором та трифазною обмоткою статора. Багатофазна обмотка одноякірної частини має електричне з'єднання з багатофазною обмоткою ротора асинхронної частини КГ.

Забезпечення можливості одночасно стабілізувати рівень напруги постійного і змінного струмів на виході КГ досягається за рахунок зміни струму збудження одноякірної частини та струму в обмотці підмагнічування магнітного шунта його асинхронної частини. У разі малих навантажень електричних мереж привідний двигун обертається з мінімальною швидкістю, яка за заданих передаточних чисел диференціального редуктора забезпечує необхідну швидкість обертів КГ та максимальну швидкість обертів синхронного генератора.

Для забезпечення необхідного моменту опору на валу синхронного генератора його якірна обмотка замикається через випрямляч на баласний резистор  $R_B$ . У цьому випадку КГ працює в режимі генератора подвійного струму і забезпечує електричне живлення мереж постійного та змінного струмів постійної частоти, а синхронний генератор працює в режимі електродинамічного гальма. Із підвищенням навантаження електричних мереж регулятор потужності збільшує подачу палива в привідний двигун, за рахунок чого збільшуються оберти та потужність на виході диференціального редуктора. При цьому регулятор частоти змінює момент опору на валу синхронного генератора і баланс моментів машин встановлюється за більшої швидкості обертання

синхронного генератора. Коли його швидкість обертання буде достатня для переходу в генераторний режим роботи, тоді якірна обмотка переклучиться з баласного резистора  $R_A$  на щітки колектора одноякірної частини КГ. У цьому режимі одноякірна частина КГ та синхронний генератор працюють паралельно на мережу постійного струму [2].

Якщо навантаження електричної мережі постійного струму немає або воно мале, то електрична енергія, яка передавалась від синхронного генератора до щіток колектора одноякірної частини КГ, перетворюється на змінний струм постійної частоти.

Швидкість обертання  $\omega_1$  пов'язана з частотою змінного струму на виході КГ залежністю

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_2}{(p_{\text{оп}} + p_{\text{ам}})},$$

де  $f_2$  – вихідна частота змінного струму,  $p_{\text{оп}}, p_{\text{ам}}$  – числа пар полюсів одноякірної та асинхронної частин КГ.

При цьому частота змінного струму  $f_1$ , що проходить по роторних контурах КГ, визначається швидкістю обертання КГ та кількістю пар полюсів його одноякірної частини відповідно до залежності

$$f_1 = \frac{p_{\text{оп}} \omega_1}{2\pi},$$

а швидкість обертання магнітного поля  $\omega_{\text{п2}}$  у повітряному зазорі визначається співвідношенням

$$\omega_{\text{п2}} = \frac{\omega_1 (p_{\text{оп}} + p_{\text{ам}})}{p_{\text{ам}}}.$$

Відповідно до опису принципу дії ДСОГ каскадний генератор може працювати в одному з двох режимів:

- 1) генератора подвійного струму;
- 2) генератора змінного струму постійної частоти та перетворення випрямленого струму в змінний струм постійної частоти.

Синхронний генератор змінної частоти залежить від швидкості обертання привідного двигуна в режимі генератора або електродинамічного гальма.

Проаналізуємо співвідношення потоків потужностей в ДСОГ для характерних режимів роботи.

### Режим генерування змінного струму постійної частоти

Якщо в цьому режимі ДСОГ за малих швидкостей обертання синхронний генератор використовується як електродинамічне гальмо, то механічний момент на валу каскадного генератора, обумовлений генераторними складовими потужності одноякірної та асинхронної частин зрівноважується моментом опору на валу синхронного генератора змінної частоти.

У цьому випадку сумарна активна потужність КГ дорівнює потужності мережі змінного струму  $P_{M\sim}$ , а добуток  $M_{CG}\omega_{CG}$  являє собою потужність втрат ковзання синхронної машини в режимі електродинамічного гальма. Якщо електричну потужність синхронного генератора підведено до колектора одноякірної частини КГ, то результуючий механічний момент на валу КГ буде визначатись співвідношенням:

$$M_{KG} = \frac{P_{C\sim}}{\eta_{AM}\eta_{\Gamma}\omega_1} \left( \frac{P_{OP} + \eta_{\Gamma}P_{AM}}{P_{OP} + P_{AM}} \right) - \frac{P_{CG}\eta_{ВП}\eta_{д}}{\omega_1},$$

а механічна потужність

$$P_{МКГ} = \frac{P_{C\sim} \left( \frac{P_{OP} + \eta_{\Gamma}P_{AM}}{P_{OP} + P_{AM}} \right) i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}}{\left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{CG}\eta_{ВП}\eta_{д} \right) \eta_{AM}\eta_{\Gamma}}$$

де  $\eta_{CG}$ ,  $\eta_{ВП}$ ,  $\eta_{AM}$  – відповідно ККД синхронного генератора, випрямного пристрою й асинхронної частини КГ як генератора змінного струму;  $\eta_{д}$  – ККД, що характеризує перетворення електричної потужності, підведеної до колектора одноякірної частини в механічну потужність;  $\eta_{\Gamma}$  – ККД, що характеризує генерування електричної потужності одноякірною частиною;  $i_1$  – передаточне число диференціального редуктора.

Ураховуючи баланс моментів машин на валах диференціального редуктора ( $M_{KG} = i_1 M_{CG}$ ) величину механічної потужності на валу синхронного генератора визначають співвідношенням

$$P_{МСГ} = \frac{P_{M\sim} \left( \frac{P_{OP} + \eta_{\Gamma}P_{AM}}{P_{OP} + P_{AM}} \right)}{\left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{CG}\eta_{ВП}\eta_{д} \right) \eta_{AM}\eta_{\Gamma}}$$

Механічну потужність на валу диференціального редуктора визначають за формулою

$$P_M = \frac{P_{МСГ}}{\eta_P \omega_2} (1 + i_1) \omega_3$$

або

$$P_M = \frac{P_{МСГ}}{\eta_P} \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + 1 \right),$$

де  $\eta_P$  – ККД диференціального редуктора.

Коефіцієнт корисної дії генераторного агрегата

$$\eta_{ГА} = \frac{P_{M\sim}}{P_M} = \frac{\eta_P \eta_{AM} \eta_{\Gamma} \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{CG} \eta_{ВП} \eta_{д} \right)}{\left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + 1 \right) \left( \frac{P_{OP} + \eta_{\Gamma} P_{AM}}{P_{OP} + P_{AM}} \right)}$$

### Режим одночасного живлення споживачів змінного струму постійної частоти та постійного струму

У цьому режимі доцільно розглянути два випадки.

1. Електрична потужність на виході синхронного генератора більша від потужності споживачів постійного струму. Надмірна електрична потужність від випрямного пристрою підводиться до колектора одноякірної частини КГ. У цьому випадку рівняння для механічних потужностей на валах диференціального редуктора визначають за формулами:

$$P_{МКГ} = \frac{P_{M\sim} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} \left( \frac{P_{OP} + \eta_{\Gamma} P_{AM}}{P_{OP} + P_{AM}} \right)}{\eta_{AM} \eta_{\Gamma} \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{CG} \eta_{ВП} \eta_{д} \right)} +$$

$$+ \frac{P_M i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} \eta_{д}}{i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{CG} \eta_{ВП} \eta_{д}};$$

$$P_{МСГ} = \frac{P_{M\sim} (P_{OP} + \eta_{\Gamma} P_{AM})}{P_{OP} + P_{AM}} + \frac{P_M \eta_{д}}{i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{CG} \eta_{ВП} \eta_{д}};$$

$$P_M = \frac{P_{M\sim} (P_{OP} + \eta_{\Gamma} P_{AM}) + P_M \eta_{AM} \eta_{\Gamma} \eta_{д}}{P_{OP} + P_{AM}} \times \frac{1}{\eta_P \eta_{AM} \eta_{\Gamma} \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{CG} \eta_{ВП} \eta_{д} \right)}$$

$$\times \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + 1 \right),$$

де  $P_{M=}$  – потужність мережі постійного струму.

Коефіцієнт корисної дії в цьому випадку

$$\eta_{ГА} = \frac{\eta_p \eta_{AM} \eta_{Г\sim} \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП} \eta_d \right)}{P_{M\sim} \left( \frac{P_{ОП} + \eta_{Г\sim} P_{AM}}{P_{ОП} + P_{AM}} \right) + P_{M=} \eta_{AM} \eta_{Г\sim} \eta_d} \times \frac{P_{M\sim} + P_{M=}}{i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + 1}$$

2. Потужність споживачів постійного струму більша від електричної потужності на виході впрямного пристрою. У цьому випадку механічний момент, що розвивається на валу КГ, залежить від ККД одноякірної частини в режимах генерування постійного й змінного струмів і визначається за формулою

$$M_{КГ} = \frac{P_{M\sim} (P_{ОП} + \eta_{Г\sim} P_{AM})}{\eta_{AM} \eta_{Г\sim} (P_{ОП} + P_{AM}) \omega_1} + \frac{P_{M=} - P_{СГ} \eta_{В}}{\eta_{Г=} \omega_1}$$

У цьому разі механічна потужність, що розвивається на валах диференціального редуктора, залежить від ККД одноякірного перетворювача КГ у режимах генерування змінного ( $\eta_{Г\sim}$ ) і постійного ( $\eta_{Г=}$ ) струмів і визначається співвідношеннями:

$$P_{МКГ} = \frac{P_{M\sim} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} \left( \frac{P_{ОП} + \eta_{Г\sim} P_{AM}}{P_{ОП} + P_{AM}} \right) \eta_{Г=}}{\eta_{AM} \eta_{Г\sim} \left( \eta_{Г\sim} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП} \right)} + \frac{P_{M=} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2}}{\eta_{Г=} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП}};$$

$$P_{МСГ} = \frac{P_{M\sim} \eta_{Г=} \frac{P_{ОП} + \eta_{Г\sim} P_{AM}}{P_{ОП} + P_{AM}}}{\eta_{AM} \eta_{Г\sim} \left( \eta_{Г=} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП} \right)} + \frac{P_{M=}}{\eta_{Г=} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП}};$$

$$P_{M=} = \frac{P_{M\sim} \eta_{Г\sim} \left( \frac{P_{ОП} + \eta_{Г\sim} P_{AM}}{P_{ОП} + P_{AM}} \right) \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + 1 \right)}{\eta_p \eta_{AM} \eta_{Г\sim} \left( \eta_{Г=} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП} \right)} + \frac{P_{M=} \left( i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + 1 \right)}{\eta_{Г=} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП}}$$

Коефіцієнт корисної дії визначають за формулою

$$\eta_{ГА} = \frac{\eta_p \eta_{AM} \eta_{Г\sim} \left( \eta_{Г=} i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + \eta_{СГ} \eta_{ВП} \right)}{P_{M\sim} \eta_{Г\sim} \left( \frac{P_{ОП} + \eta_{Г\sim} P_{AM}}{P_{ОП} + P_{AM}} \right) + P_{M=} \eta_p \eta_{AM} \eta_{Г\sim}} \times \frac{P_{M\sim} + P_{M=}}{i_1 \frac{\omega_1}{\omega_2} + 1}$$

## Висновки

Розглянуті аналітичні співвідношення дозволяють кількісно оцінити процес перетворення енергії в різних режимах роботи диференціальної системи одночасного генерування з каскадним генератором.

## Література

1. Канарчук В. Е., Гелетука Г. Н., Запорожец В. В. Авиационная наземная техника: Справочник. – М.: Транспорт, 1989. – 278 с.
2. Красношапка М. М. Генераторы переменного тока стабильной и регулируемой частоты. – К.: Техніка, 1974. – 168 с.
3. Красношапка М. М. Асинхронно-синхронные машины каскадного типа // Тр. III Всесоюз. конф. по бесконтактным машинам. – Рига: Зинатне, 1966. – №2. – С.33 – 41.
4. ГОСТ 19705–89. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 45 с.

Стаття надійшла до редакції 13.02.07.