

Особливості перетворення енергії в приводах постійної частоти обертання з електродинамічним редуктором

Забезпечення якості генерування змінного струму постійної частоти автономних систем електропостачання за рахунок застосування електродинамічних редукторів покращеної конструкції.

Якість електроенергії характеризується певним набором показників, в тому числі частотою змінного струму [1]. Найбільший прогрес в розв'язанні проблеми стабілізації частоти змінного струму відповідно до режимів роботи силової установки досягнуто за рахунок використання різних приводів постійної частоти обертання (ППЧО). Одним з перспективних напрямів розв'язання проблеми стабілізації частоти змінного струму є дослідження можливості використання в системах бортового електропостачання ближньомагістральних літаків з діапазоном зміни швидкості авіадвигуна $D_{\omega} = 1.3 \div 1.75$ електромеханічних ППЧО на основі електродинамічних редукторів (ЕДР) [2, 3], які є більш надійними за рахунок конструктивної простоти та мають більший ресурс роботи.

Електродинамічний редуктор, призначений для стабілізації швидкості обертання ротора синхронного генератора при зміні швидкості обертання валу ГТД в умовах його льотної експлуатації, являє собою ППЧО з плавномінімним передавальним відношенням. ЕДР з передавальним відношенням, яке плавно регулюється (рис.) представляє собою електромеханічний каскад, що складається з асинхронної муфти (АМ) і синхронної машини (СМ) оберненої конструкції з нерухомим індуктором і якорем, що обертається.

При цьому якірні обмотки СМ і обмотки ведучого ротора АМ обертаються зі швидкістю вхідного валу ЕДР. Так як багатофазна якірна обмотка ведучого ротора АМ живиться від системи змінних струмів якоря СМ, то в повітряному проміжку між ведучим і веденим роторами муфти формується результуюче магнітне поле, швидкість обертання якого визначається режимом польоту повітряного судна (ПС), тобто механічної швидкістю обертання вхідного валу і швидкістю обертання магнітного поля обмотки ведучого ротора щодо ведучого ротора. Залежно від напрямку обертання поля обмотки ведучого ротора щодо направлення швидкості вхідного валу результуюча швидкість магнітного поля в повітряному зазорі може бути як вище, так і нижче швидкості обертання вхідного валу ЕДР. У першому випадку швидкості обертання ведучого ротора АМ і магнітного поля його багатофазної обмотки щодо ведучого ротора підсумовуються, і ЕДР має підвищуюче передавальне відношення, а в другому - віднімаються, перетворюючи ЕДР в редуктор із понижуючим передавальним відношенням.

Стабілізація швидкості обертання веденого ротора АМ при зміні режиму роботи ГТД, тобто швидкості обертання його вала, забезпечується зміною величини ковзання веденого ротора АМ щодо швидкості обертання в повітряному зазорі магнітного поля провідного ротора. Величини передавальних співвідношень як підвищуючого, так і понижуючого ЕДР при заданій величині ковзання веденого ротора асинхронної муфти щодо ведучого визначаються з використанням відомих співвідношень [3].

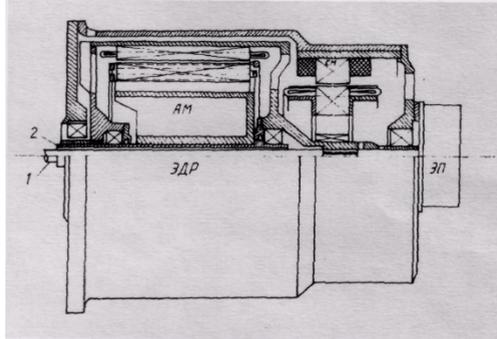


Рис. 1. Конструктивна схема ЕДР: 1- ведучий ротор ЕДР, 2 – ведений ротор ЕДР, СМ - синхронна збуджуюча машина, АМ - асинхронна муфта, ЕП – електромагнітний перемикач фаз.

Результуюча швидкість поля підвищуючого ЕДР (рис.2) визначається співвідношенням:

$$\omega_{n\Sigma} = \omega_1 + \frac{2\pi f_1}{p_{am}}, \quad (1),$$

де ω_1 - швидкість вхідного вала ЕДР, $f_1 = p_{cm}\omega_1/2\pi$ - частота змінних струмів якірної обмотки СМ и ведучого ротора АМ, p_{am} , p_{cm} - кількість пар полюсів АМ та СМ відповідно.

Таким чином, швидкість обертання веденого ротора ЕДР ω_2 може бути визначена через значення результуючої швидкості магнітного поля і поточної величини ковзання (s):

$$\omega_2 = \omega_1 \left(1 + p_{cm}/p_{am}\right) (1-s). \quad (2)$$

Як впливає з формули (2), передавальне відношення ЕДР на підвищувальній передачі однозначно визначається співвідношенням чисел пар полюсів СМ і АМ, а величина ковзання при поточних значеннях швидкостей обертання ведучого і веденого роторів АМ може бути розрахована з використанням співвідношення:

$$s = 1 - \frac{\omega_2}{\omega_1 \left(1 + p_{cm}/p_{am}\right)}. \quad (3)$$

Зміна величини ковзання і плавна зміна передавального співвідношення ЕДР з метою стабілізації швидкості обертання веденого вала

ЕДР здійснюється зміною рівня збудження ведучого ротора АМ регулятором швидкості обертання приводу (регулятором струму збудження СМ).

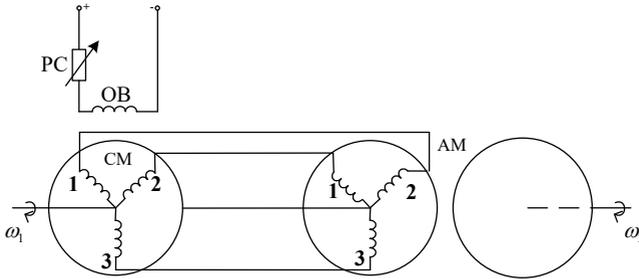


Рис.2. Принципова схема одноступінчатого підвищуючого ЕДР з трифазними обмотками: РС - регулятор швидкості (частоти), ОБ - обмотка збудження синхронної машини.

У разі, коли швидкість вихідного вала ЕДР вище швидкості обертання вхідного вала, АМ працює в режимі двигуна. СМ ЕДР працює генератором, живлячи електроенергією змінної частоти обмотку ведучого ротора АМ.

Механічна потужність, що передається через ЕДР від приводного двигуна до синхронного генератора, визначається величиною результуючого моменту, що розвивається приводним двигуном і швидкістю обертання веденого ротора АМ $P_{\text{мех}} = M\omega_2$.

Значення повної електричної потужності, що підводиться до ведучого ротора АМ від СМ, можна визначити через величину максимальної потужності на валу ЕДР при відомих значеннях ККД, коефіцієнта потужності та номінального (мінімального) ковзання АМ:

$$S = \frac{P_{\text{мех}}}{(1 - s_H) \eta_{\text{ам}} \cos \varphi_{\text{ам}}} \cdot \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{см}} + P_{\text{ам}}}, \quad (4)$$

де $P_{\text{см}} / (P_{\text{см}} + P_{\text{ам}})$ - відношення швидкості магнітного поля струмів обмотки ведучого ротора АМ до результуючої швидкості поля в повітряному зазорі, $\eta_{\text{ам}}$ - ККД АМ, s_H - величина номінального ковзання, $\cos \varphi_{\text{ам}}$ - коефіцієнт потужності АМ.

У свою чергу величина електромагнітного моменту, що розвивається АМ на валу веденого ротора, може бути виражена через величини повної електричної потужності ведучого ротора АМ і швидкість обертання магнітного поля струмів обмотки ведучого ротора:

$$M_{\text{ел}} = \frac{S \cos \varphi_{\text{ам}}}{\omega_1} \cdot \frac{E_{\text{ам}}}{U} \cdot \frac{P_{\text{см}}}{P_{\text{ам}}}, \quad (5)$$

де $E_{\text{ам}} / U$ - відношення ЕРС фази обмотки ведучого ротора до величини фазної напруги, що підводиться від СМ.

ККД ЕДР при номінальному навантаженні на підвищуючій передачі і поточній величині ковзання веденого ротора муфти щодо ведучого:

$$\eta = \left[1 - \frac{P_{cm}}{P_{am} + P_{cm}} \cdot (1 - \eta_{cm} \eta_{am}) \right] \cdot (1 - s). \quad (6)$$

Як випливає з формули (6) величина ККД ЕДР в процесі стабілізації швидкості обертання вихідного вала при цьому конструктивному виконанні машини зменшується пропорційно зростанню величини ковзання веденого ротора асинхронної муфти щодо ведучого, що обумовлено виділенням в обмотці веденого ротора втрат ковзання $P_{ск} = P_{mex} s / (1 - s)$.

Максимальне значення ККД асинхронної муфти при номінальному навантаженні відповідає рівню ККД при мінімальному ковзанні веденого ротора щодо ведучого (без урахування втрат ковзання в процесі стабілізації швидкості вихідного вала).

Отже, результуюча швидкість магнітного поля в повітряному зазорі може бути нижче швидкості обертання вхідного вала ЕДР, що відповідає понижувального передавального співвідношенню ЕДР. Для переведення ЕДР з режиму роботи з підвищуючим передавальним відношенням в режим роботи із понижуючим передавальним відношенням необхідно забезпечити інверсне підключення фаз обмотки ведучого ротора АМ до фаз якірної обмотки СМ.

Висновок. На основі аналізу особливостей робочого процесу ЕДР, визначено їх істотні властивості та характеристики, що підтверджують доцільність застосування таких агрегатів для генерування змінного струму постійної частоти необхідної якості за змінної швидкості обертання ротора ГТД на різних режимах експлуатації ближньомагістральних повітряних суден. Стабілізація швидкості обертання вторинного ротора АМ ЕДР при зміні режиму роботи ГТД забезпечується зміною величини ковзання вторинного ротора АМ. Стійкість роботи ЕДР у всьому діапазоні польотних режимів ГТД визначаються вибором конструкції ротора АМ.

Список літератури

1. Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Общие требования и нормы качества электроэнергии: ГОСТ 19705-89.– действующий с 01.01.90]. - М.: Издат. стандартов, 1982. – 46 (А5) с.
2. Красношарпа М.М. Генераторы переменного тока стабильной и регулируемой частоты / Максим Митрофанович Красношарпа. – К.: Техника, 1974. – 168 с.
3. Красношарпа М.М. Теория и расчет электродинамических редукторов с регулируемым передаточным отношением / Максим Митрофанович Красношарпа. – К.: КВИАВУ ВВС, 1967. – 135с.