

АНАЛІЗ ВПЛИВУ НА МЕРЕЖУ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА СИСТЕМИ ДИНАМІЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Сергієнко С.А., к.т.н., доцент, Коваль В.А., аспірант, Козак О.О., магістрант
Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського
39614, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20
E-mail: saue@polytech.poltava.ua*

Вступ. Електричні машини, які входять до складу електроприводів, є невід'ємною частиною більшості технологічних механізмів будь-якої галузі промисловості. Ріст кількості повторних відмов електричних машин, повернутих після ремонту в технологічний процес, об'єктивно вказує не лише на необхідність визначення нового паспорта відремонтованої електричної машини, але й на складання рекомендацій з подальшого її використання, які можуть бути складені в ході після ремонтних випробувань із реалізацією навантаження, яке відповідає конкретному технологічному процесу. Існуючі в електроремонтних цехах системи статичного навантаження не можуть реалізувати поставленого завдання для випробування електроприводів, що об'єктивно обумовлює застосування систем динамічного навантаження. Реалізація систем динамічного навантаження може бути здійснена з використанням керованих перетворювачів напруги в якірних ланцюгах і ланцюгах збудження. Як перетворювачі традиційно використовують напівпровідникові мало інерційні тиристорні або транзисторні перетворювачі напруги, основним недоліком яких є генерація вищих гармонік у мережу, наявність на виході перетворювачів напруги імпульсного характеру, що негативно впливає на комутаційні процеси в колекторно-щітковому вузлі. Причому вплив негативних факторів зростає з ростом потужності випробуваного двигуна.

Мета роботи. Дослідження особливостей систем динамічного навантаження двигунів постійного струму на базі генератора постійного струму і їх впливу на приводний двигун і мережу живлення.

Матеріал і результати досліджень. Для зниження недоліків, обумовлених застосуванням перетворювачів напруги, доцільно використовувати в якості керованого джерела живлення генератор постійного струму з різними типами збудження (рис. 1). Проте сформований у якірному ланцюзі системи Г-Д динамічний момент однозначно буде впливати на

характеристики роботи приводного (синхронного або асинхронного) двигуна і, як наслідок, на мережу живлення.

Слід відзначити, що проблема потужності й впливу систем динамічного навантаження на мережу на сьогоднішній день не може вважатися вирішеною. Використання систем динамічного навантаження приводить до зміни гармонічного складу мережі живлення і збільшення реактивної складової потужності, що є вкрай негативним явищем і вимагає детального дослідження для поліпшення енергетичних процесів.

Застосування генератора обумовлює необхідність наявності приводного двигуна, в якості якого може виступати асинхронний або синхронний двигун.

У випадку застосування асинхронних двигунів швидкість генератора не залишається величиною постійною, вона залежить від жорсткості механічних характеристик двигуна. Зміна швидкості генератора навіть у незначних межах вводить у контур перетворення потужності махові маси асинхронного двигуна й генератора, що сприяє зниженню поштовхів активної потужності, що циркулює між випробуваним двигуном і мережею.

Це явище варто розглядати як позитивне, тому що воно дозволяє обмежувати встановлену потужність асинхронного двигуна, вибирати його не по перевантажувальній здатності, а по перевантаженню, близькому до статичного. Однак, коливання швидкості асинхронного двигуна значно погіршує параметри навантаження, що характеризують технологічний процес.

Синхронна машина практично без викривлення передає навантаження з вала генератора постійного струму при малих частотах впливу, що дозволяє реалізовувати необхідний режим навантаження. Змінний момент опору, створюваний системою динамічного навантаження на валу синхронного двигуна, буде викликати зміну кута вибігу ротора синхронного двигуна φ .

Відповідно до сказаного вище, у загальному випадку, при коливаннях синхронної машини

прикладений до вала машини зовнішній момент M урівноважує наступні внутрішні моменти:

1) електромагнітний момент для неявнополюсного двигуна:

$$M_{эм} = \frac{mE_0U}{\Omega x_d} \sin q_{cp};$$

2) інерційний момент:

$$M_j = \frac{J}{p} \frac{dw}{dt} = \frac{J}{p} \frac{d^2(q_{cp} + a)}{dt^2} = \frac{J}{p} \frac{d^2 a}{dt^2};$$

3) синхронізуючий момент M_c , пропорційний при малих коливаннях відхиленню a кута θ від середнього його значення θ_{cp} :

$$M_c = q_{cp} a;$$

4) заспокійливий момент M_y , пропорційний при малих коливаннях швидкості зміни кута a :

$$M_y = K_y \frac{da}{dt}.$$

Таким чином, рівняння руху ротора має вид:

$$M = M_{эм} + M_j + M_c + M_y.$$

При нерівномірному обертанні вала синхронного двигуна рівняння для моментів приймає вид:

$$\begin{aligned} M_{эм} + \frac{J}{p} \frac{d^2 a}{dt^2} + K_y \frac{da}{dt} + M_{cp} a &= \\ &= M_{cp} + \sum_{n=1}^{n=\infty} M_{nm} \cos(n\Omega t) \end{aligned}$$

Якщо розглядати тільки такі зміни швидкості, то в цьому випадку середній момент двигуна за один оберт M_{cp} залишається постійним і урівноважує електромагнітний момент. Внаслідок цього рівняння для надлишкових моментів приймає наступний вигляд:

$$\frac{J}{p} \frac{d^2 a}{dt^2} + K_y \frac{da}{dt} + M_{cp} a = \sum_{n=1}^{n=\infty} M_{nm} \cos(n\Omega t).$$

Це рівняння можна записати у вигляді:

$$J \frac{d^2 a}{dt^2} + M_{ac} \frac{da}{dt} + M_{cp} a = \sum_{n=1}^{n=\infty} M_{nm} \cos(n\Omega t),$$

де J - сумарний момент інерції всіх обертових мас на валу синхронного двигуна; M_{ac} - асинхронний момент; M_{cp} - синхронізуючий момент двигуна.

Для динамічного навантаження струм якоря генератора дорівнює:

$$I_a(t) = I_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} I_m \cos(n\Omega t - j_i),$$

при цьому потік збудження:

$$kf_2(t) = kf_{02} + \sum_{n=1}^{n=\infty} kf_j \cos(\Omega_j t),$$

тоді момент на валу синхронного двигуна, створюваний генератором при динамічному навантаженні, буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} M_{об}(t) &= I_a(t) \cdot kf_2(t) = \\ &= (I_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} I_m \cos(n\Omega t - j_i)) \cdot (kf_{02} + \sum_{n=1}^{n=\infty} kf_j \cos(\Omega_j t)). \end{aligned}$$

Знакозмінний момент на валу синхронної машини приводить до значних коливань активної й реактивної потужностей приводного двигуна (рис. 1-3), що також чинить вплив на режими навантаження двигуна постійного струму. Для моделювання використовувались синхронний двигун СГ2: $P_{ном} = 100$ кВт, $U_{ном} = 400$ В, $n_{ном} = 1500$ об/хв, $\cos j = 0,8$, та генератора постійного струму П82 з параметрами: $P_{ном} = 95$ кВт, $U_{ном} = 220$ В, $I_{ном} = 470$ А, $n_{ном} = 1500$ об/хв, $k\Phi_{ном} = 1,43$ Вб.

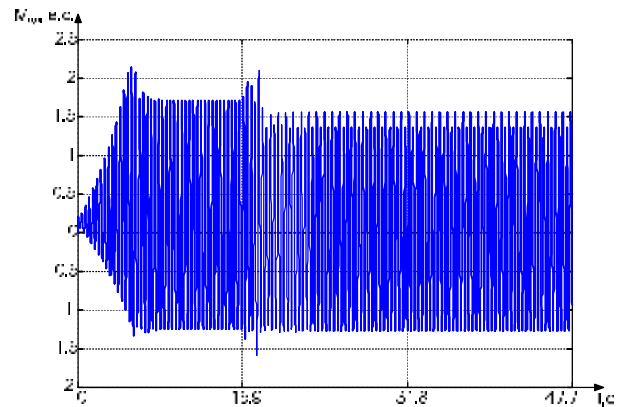


Рисунок 1 – Коливання моменту синхронного двгуна системи динамічного навантаження

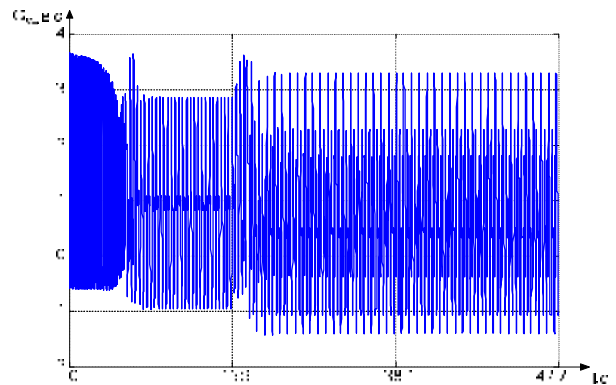


Рисунок 2 - Коливання реактивної потужності синхронного двигуна системи динамічного навантаження

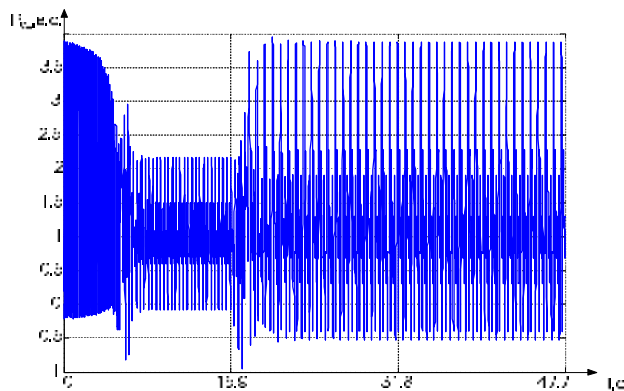


Рисунок 3 - Коливання активної потужності синхронного двигуна системи динамічного навантаження

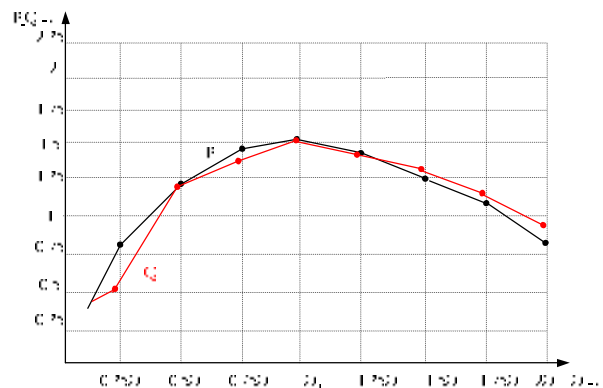


Рисунок 4 - Залежності активної й реактивної потужностей синхронного двигуна від зміни частоти навантаження

При динамічному навантаженні частота ν -ї гармоніки вимушених коливань ротора наступна:

$$f_n = n \cdot f_1 = \frac{n\Omega}{2p}$$

Частота власних коливань ротора:

$$f_0 = \frac{1}{2p \sqrt{J \cdot M_{сн}}}$$

При деякій частоті впливу, близької до власної частоти коливань ротора, можливі резонансні явища, у результаті яких момент, що розвивається двигуном, досягає значень, неприпустимих з погляду статичної стійкості. У динамічному режимі двигун може випасти із синхронізму. Найнебезпечнішою зоною роботи є:

$$\frac{f_0}{f_n} = 0,8 - 1,2$$

Дослідження впливу на приводний двигун зміни частоти навантаження дозволяє стверджувати, що розрахункова частота навантаження випробуваного двигуна є резонансною й викликає найбільші коливання активної й реактивної потужностей синхронного двигуна, що в 1,5 рази перевищують номінальні (рис. 4). Зміна частоти в будь-яку сторону приводить до зменшення ефективного значення струму випробуваної машини, і, як наслідок, до зменшення моменту на валу синхронного двигуна, а також коливань активної й реактивної потужностей приводного двигуна.

Таблиця 1

Номер гармоніки ν	Кут вибігу ротора α , град	Частота вимушених коливань, с^{-1}	Відношення частоти власних і вимушених коливань $\frac{f_0}{f_n}$
1	14,1	2,7	0,7
3	1,28	7,64	0,24
5	0,4	12,7	0,14
7	0,1	17,8	0,11

У результаті циклічної зміни моменту у двигуна відбувається циклічна зміна кута q , тобто коливання його щодо величини, що відповідає середній швидкості. Таке коливання кута є причиною періодичних коливань струму статора. Викликані цим коливання напруги при певній їх величині й частоті створюють коливання світлового ефекту ламп, перешкоди для зору, а також порушення роботи приймачів електричної енергії.

Вплив на мережу вимушених коливань синхронного двигуна можна оцінити коливаннями напруги. Відхилення напруги кожної гармоніки визначається як:

$$\Delta U = \frac{U_{\text{откл}}}{U_n}$$

$$\text{де } U_{\text{откл}} = I_{\text{сд}}(q) \cdot x_d$$

Точкою А, що характеризує відхилення напруги, викликане першою гармонікою кута вибігу ротора синхронного двигуна, позначимо на кривій залежності частоти допустимих змін напруги від частоти їхньої появи (рис. 5).

Знаходження точки А вище кривої вказує на необхідність компенсації впливу приводного двигуна системи динамічного навантаження на мережу живлення.

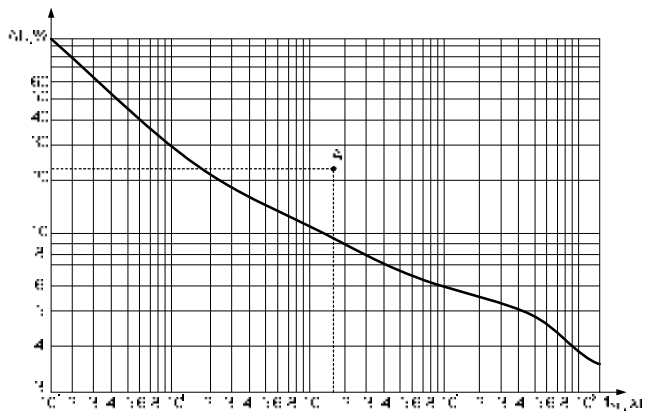
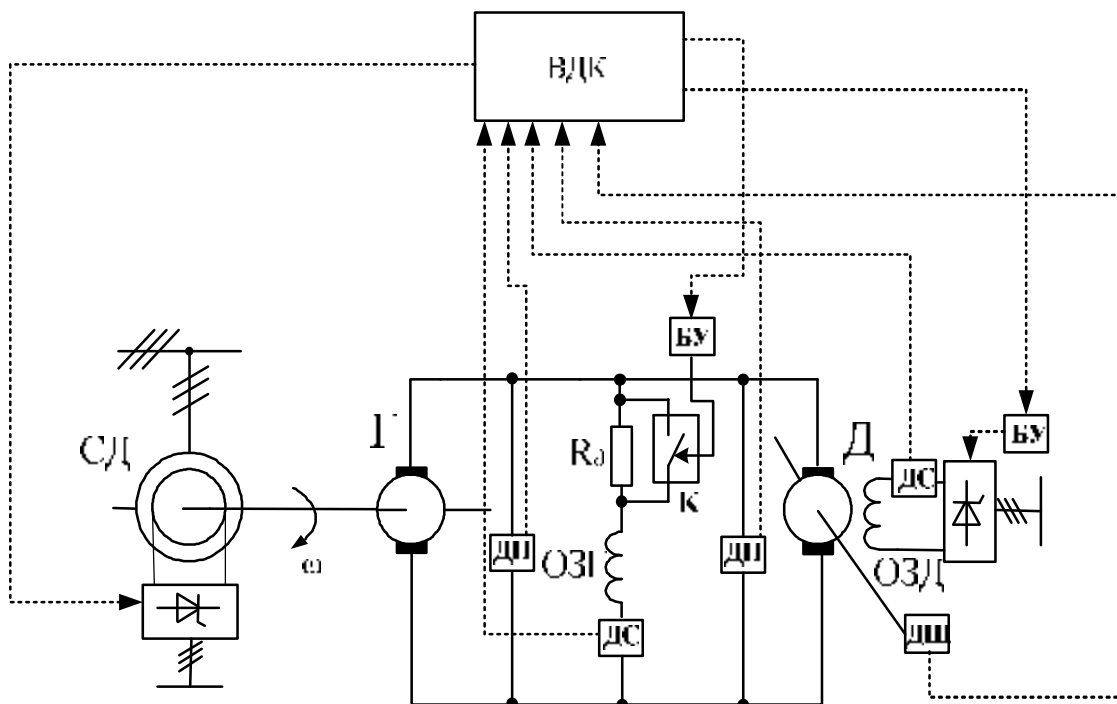


Рисунок 5 - Крива залежності частоти допустимих змін напруги від частоти їхньої появи

Цього можна досягти шляхом регулювання збудження синхронного двигуна (рис. 6).

Аналіз впливу зміни збудження на коливання потужності й моменту синхронного двигуна (рис. 7) показав, що при збільшенні збудження коливання моменту і, як наслідок, середні значення активної й реактивної потужностей значно зменшуються. При зміні збудження у зворотну сторону результати протилежні.

Цю особливість можна використати для побудови систем компенсації негативного впливу приводного двигуна системи динамічного навантаження на мережу живлення.



- БУ - блок управління;
- ВДК - вимірковально-діагностичний комплекс;
- ДС - датчик струму;
- ДН - датчик напруги;
- ДШ - датчик швидкості.

Рисунок 6 - Функціональна схема системи динамічного навантаження

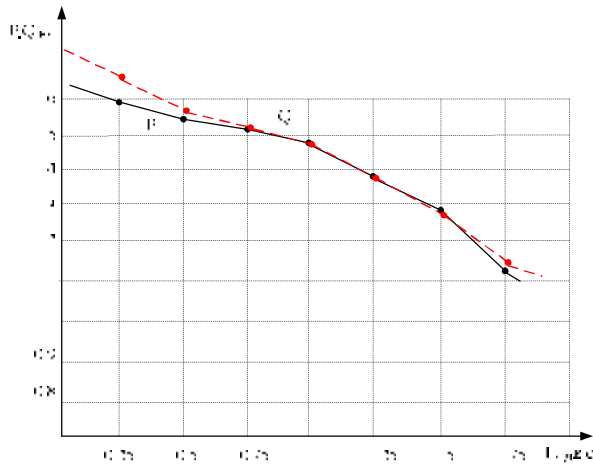


Рисунок 7 - Залежності активної й реактивної потужності від зміни збудження СД

Висновки. 1. Змінний характер систем навантаження на базі генератора постійного струму приводить до зміни кута вибігу ротора приводного синхронного двигуна, що, у свою чергу, викликає зміну гармонічного складу мережі живлення, значні коливання напруги і, як наслідок, збільшення реактивної складової потужності.

2. Компенсація негативного впливу на мережу систем динамічного навантаження на базі генератора із самозбудженням можлива шляхом формування керуючого впливу на збуджувач синхронного двигуна, відповідно до отриманих миттєвих значень потужності на валу синхронного двигуна і значень струмів і напруги мережі живлення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Родькин Д.И. Системы динамического нагружения и диагностики электродвигателей при послеремонтных испытаниях. - М.: Недра, 1992. - 242 с.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. - Л.: Энергия, 1974. - 840 с.
3. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. Машины постоянного тока, трансформаторы. - М.: Энергоиздат, 1964. - 544 с.
4. Конохова Э. А. Электроснабжение объектов: Учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образование. - М.: Мастерство, 2002. - 320 с. с ил.