

«Generation»

(шифр)

**«ЗАСТОСУВАННЯ АСИНХРОННИХ ГЕНЕРАТОРІВ В ПЕРЕСУВНИХ
УСТАНОВКАХ»**

Спеціальність: Автомобільний транспорт:

Спеціалізація: Автомобільна електроніка

2020/2021

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Фізичні процеси та співвідношення в асинхронному генераторі	4
2 Особливості математичної моделі для визначення характеристик асинхронного генератора при автономному навантаженні	8
3 Самозбудження асинхронного генератора	10
4 Робота асинхронного генератора під навантаженням в автономному режимі	14
5 Розрахунок характеристик асинхронного генератора при автономному навантаженні	16
Висновки	20
Список використаних джерел інформації	21

ВСТУП

Асинхронні машини є розповсюдженими електричними машинами змінного струму. Частіше асинхронні машини використовуються як двигуни. Але в останній час поширюється використання асинхронних машин як асинхронних генераторів, зокрема для автономних джерел електричної енергії [1]. Наприклад, значний інтерес викликає використання асинхронних генераторів для забезпечення живлення як трифазного, так і однофазного струму, а також споживачів постійного струму.

В окремих умовах експлуатації автономних джерел електроенергії використання асинхронного генератора є кращим, або єдиною можливим рішенням, як наприклад, у високошвидкісних пересувних електростанціях з безредукторним газотурбінним приводом з частотою обертання від 9 до 15 тис. об/хв.

Для покращення експлуатаційних можливостей до кола статора додатково вмикають конденсатори послідовно або паралельно до навантаження. У всіх випадках автономної роботи асинхронного генератора джерело реактивної потужності (батарея конденсаторів або синхронний компенсатор) має забезпечувати реактивну потужність як асинхронному генератору, так і навантаженню.

Маса і розміри конденсаторної батареї або синхронного компенсатора можуть перевищувати масу асинхронного генератора і тільки при $\cos\varphi=1$ розміри синхронного компенсатора або конденсаторної батареї порівнюються з розмірами асинхронного генератора.

Іншою проблемою є проблема стабілізування напруги та частоти автономно працюючого асинхронного генератора, в якого м'яка зовнішня характеристика.

1. ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ ТА СПІВВІДНОШЕННЯ В АСИНХРОННОМУ ГЕНЕРАТОРІ

Асинхронні генератори, як і будь-які електричні генератори, можуть використовуватися в двох режимах:

- при автономному навантаженні;
- при паралельній роботі з мережею нескінченної потужності.

При автономному навантаженні до кола обмотки статора електричного генератора вмикається визначене автономне навантаження, створюється електричне коло «обмотка статора – навантаження» (рис.1). Струм, який споживає навантаження, є струмом обмотки статора I_s . Для створення основного магнітного потоку необхідно мати реактивний намагнічувальний струм I_{so} . Для цього до кола обмотки статора асинхронного генератора вмикається конденсаторна батарея ємністю C .

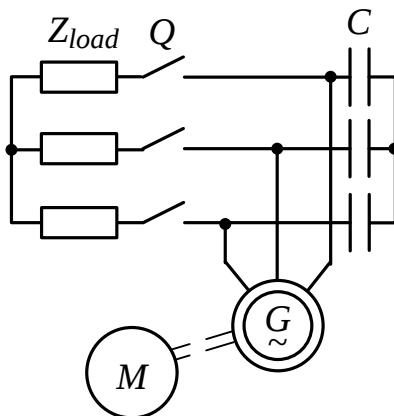


Рисунок 1 – Електрична схема асинхронного генератора при автономному навантаженні

Якщо ротор асинхронної машини обертати за допомогою приводного пристрою у напрямку обертання магнітного поля обмотки статора з частотою обертання n_r , більшою за частоту обертання магнітного поля обмотки статора n_s ($n_r > n_s$), то ЕРС обмотки статора E_s змінить свій напрямок на

протилежний порівняно з режимом двигуна. Змінить свій напрямок струми ротора I_r та статора I_s . Це приведе до зміни напрямку перетворення енергії, і асинхронна машина стане віддавати активну потужність до мережі. Таким чином, механічна енергія стане перетворюватися на електричну. Напрямок електромагнітного моменту M_{em} зміниться на зворотній – він стане гальмівним та врівноважить обертовий момент приводного механізму. Ковзання s в генераторному режимі є від'ємним. Магнітне поле обмотки ротора обертається зустрічно по відношенню до напрямку обертання ротора [2].

Для розрахунку характеристик асинхронного генератора використовується Т-подібна схема заміщення, як і для асинхронного двигуна, з додаванням двох віток – навантаження та конденсаторної (рис.2).

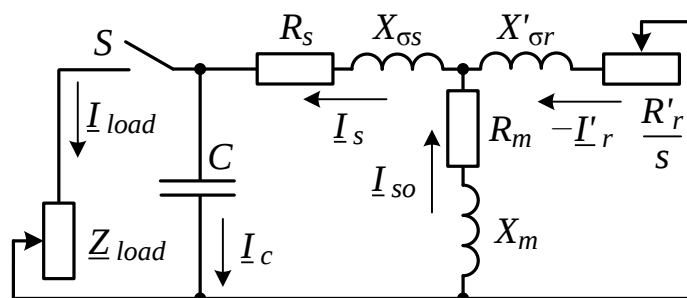


Рисунок 2 – Т-подібна схема заміщення асинхронного генератора

Вітки схеми заміщення складаються з опорів:

R_s – активний опір фазної обмотки статора;

$X_{\sigma s}$ – індуктивний опір розсіяння обмотки статора;

R_m – фіктивний активний опір, що відбиває існування магнітних втрат в осерді статора;

X_m – головний індуктивний опір взаємоіндукції статора та ротора;

$\frac{R'_r}{s}$ – сума активного опору фазної обмотки ротора та фіктивного акти-

вного опору, що відображає перетворення механічної енергії на електричну;

$X'_{\sigma r}$ – зведений індуктивний опір розсіяння обмотки ротора.

До схеми заміщення додається вітка навантаження з опором навантаження Z_{load} , який обумовить струм навантаження I_{load} .

Рівняння асинхронного генератора для усталеного режиму складаються за загальними принципами електричних машин з урахуванням системи зведених величин:

$$\underline{I}_s = \underline{I}_{so} + (-\underline{I}'_r);$$

$$U_s = -\underline{E}_s + j\underline{I}_s \cdot X_{\sigma s} + \underline{I}_s \cdot R_s;$$

$$\underline{U}_s = \underline{I}_{load} \cdot \underline{Z}_{load},$$

$$\underline{E}'_r = \underline{I}'_r \cdot \frac{R'_r}{s} + j\underline{I}'_r X'_{\sigma r};$$

$$\underline{E}'_r = -\underline{E}_s,$$

де U_s – напруга обмотки статора;

$\underline{E}'_r$ – зведена ЕРС обмотки ротора;

За рівняннями складається векторна діаграма асинхронного генератора (рис. 3). Вектори ЕРС $\underline{E}_s$ та $\underline{E}'_r$ знаходяться в протифазі через те, що електромагнітний момент електричної машини M_{em} в режимі генератора є гальмівним.

Активна складова струму обмотки ротора I_{ra} в режимі генератора змінює свій знак порівняно з режимом двигуна через від'ємне ковзання s . Реактивна складова струму обмотки ротора свій знак не змінює. Отже, генератор споживає з мережі реактивну потужність, носієм якої, як і у випадку двигуна, є струм $\underline{I}_{so}$.

Вектор струму $\underline{I}'_r$ розташовується в другому квадранті, тому що кут

$$\psi_r = \arctg \frac{X'_{\sigma r} \cdot s}{R'_r} \text{ є від'ємним.}$$

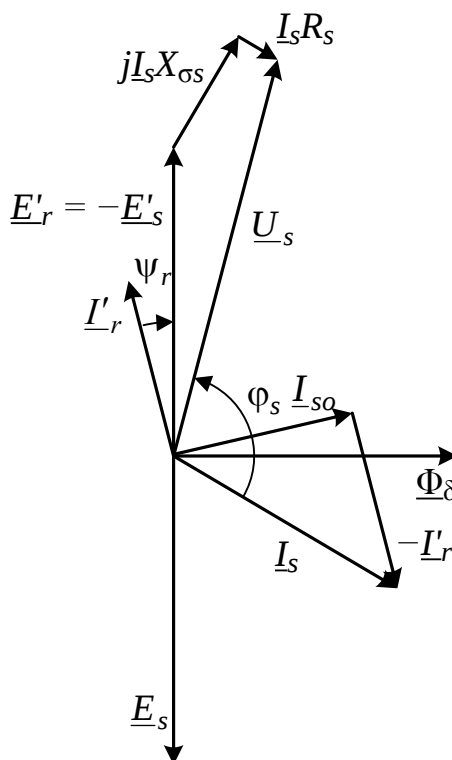


Рисунок 3 – Векторна діаграма асинхронного генератора

З векторної діаграми асинхронного генератора випливає, що в генераторному режимі кут $\varphi_s > 90^\circ$, тобто активна потужність генератора буде від'ємною. Це означає, що активна потужність не споживається з мережі, а віддається до неї.

З векторної діаграми виходить, що реактивна складова струму статора $I_{sr} = I_s \sin \varphi_s$, і реактивна потужність Q при переході асинхронної машини з режиму електродвигуна до генераторного зберігає свій знак, що свідчить про те, що асинхронний генератор споживає з мережі реактивну потужність і індуктивний струм.

Тому асинхронний генератор може працювати тільки на мережу, яка має джерело реактивної потужності.

2. ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ АВТОНОМНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Для користування математичною моделлю асинхронного генератора при автономному навантаженні необхідно враховувати коефіцієнти зведення для опорів, струмів та ЕРС обмотки ротора.

Зведення обмотки ротора до обмотки статора виконується за таких умов [2]:

- 1) ЕРС зведеної обмотки ротора дорівнює ЕРС обмотки статора

$$\underline{E}'_r = \underline{E}_s ;$$

- 2) кількість фаз зведеної обмотки ротора дорівнює кількості фаз обмотки статора

$$m'_r = m_s .$$

- 3) електромагнітна потужність зведеної обмотки ротора дорівнює електромагнітній потужності реальної обмотки ротора

$$m'_r \cdot I'_r \cdot E'_r = m_r \cdot I_r \cdot E_r ;$$

- 4) електричні втрати зведеної обмотки ротора дорівнюють електричним втратам реальної обмотки ротора

$$m'_r \cdot I'^2_r \cdot R'_r = m_r \cdot I^2_r \cdot R_r ;$$

Коефіцієнт зведення ЕРС асинхронної машини

$$K_E = \frac{N_s \cdot K_{Ws}}{N_r \cdot K_{Wr}} .$$

Коефіцієнт зведення струму обмотки ротора

$$K_I = \frac{m_s \cdot N_s \cdot K_{Ws}}{m_r \cdot N_r \cdot K_{Wr}} .$$

Коефіцієнт зведення активного, індуктивного та повного опорів обмотки ротора

$$K_A = \frac{m_s \cdot N_s^2 \cdot K_{ws}^2}{m_r \cdot N_r^2 \cdot K_{wr}^2}.$$

Зведений струм обмотки ротора

$$I_r' = \frac{I_r}{K_I}.$$

Зведений активний та індуктивний опори

$$R_r' = K_A \cdot R_r;$$

$$X_r' = K_A \cdot X_{\sigma r}.$$

Для визначення ємності конденсаторної батареї, необхідної для створення основного магнітного потоку, математична модель асинхронного генератора доповнюється рівняннями

$$\underline{I}_C = \underline{I}_s + \underline{I}_{load};$$

$$\underline{U}_s = \underline{I}_C \cdot X_C.$$

R_m – фіктивний активний опір, що відбиває існування магнітних втрат в осерді статора,

$$R_m = \frac{P_{mag}}{m_s \cdot I_{so}^2}; \text{ (Помилка! У документі відсутній текст)}$$

Головний індуктивний опір взаємоіндукції у напрямку статор – ротор

$$X_m = \frac{E_s}{I_s}, \text{ (Помилка! У документі відсутній текст)}$$

де E_{sr} – ЕРС, наведена в одній фазній обмотці ротора магнітним полем, що створено усіма фазними обмотками статора.

$$X_{sr\ main} = \frac{4m_s \cdot f_s}{\pi} \cdot \frac{\mu_0 \cdot \tau_p \cdot l}{\delta \cdot K_C \cdot k_\mu} \cdot \frac{N_s \cdot N_r \cdot K_{ws} \cdot K_{wr}}{p}. \text{ (Помилка! У докумен)}$$

$$\underline{I}_C = \underline{I}_{so} + (-\underline{I}_r') + \underline{I}_{load};$$

3. САМОЗБУДЖЕННЯ АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Для збудження автономно працюючого асинхронного генератора необхідна наявність джерела реактивної потужності – батареї конденсаторів або синхронного компенсатора, підключеного до обмотки статора. Практично асинхронний генератор може збуджуватися при частоті обертання ротора меншої за синхронну, але більшу за частоту обертання неробочого ходу двигуна. Причому значення напруги та частоти струму є пропорційні частоті обертання ротора і, крім того, залежать від схеми з'єднання конденсаторів.

Сучасні роботи по самозбудженню асинхронних генераторів за допомогою статичних конденсаторів будуються на трьох підходах.

Перший спосіб базується на принципі залишкової намагніченості магнітного кола машини, початкова ЕРС від якої потім посилюється ємнісним струмом [3, 4]. Процес самозбудження асинхронного генератора (рис. 4) проходить як у генератора постійного струму, якщо є залишковий магнітний потік.

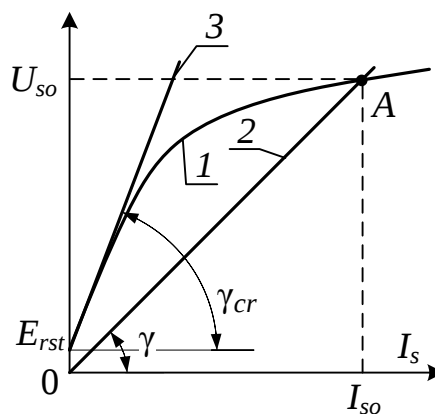


Рисунок 4 – Процес самозбудження асинхронного генератора при неробочому ході

Залишковий магнітний потік при обертанні ротора наводить в обмотці

статора ЕРС E_{rst} , яка викликає в конденсаторах струм I_C . Величина залишкової ЕРС становить 2–3 % від номінальної напруги. Струм I_C є ємнісним, протікає по обмотці статора, підмагнічує асинхронний генератор і посилює залишковий магнітний потік, що приводить до зростання залишкової ЕРС, подальшому зростанню струму та магнітного потоку. Закінчення процесу збудження відповідає точці A – перетину характеристики неробочого ходу 1 (характеристики намагнічування) асинхронного генератора $E(I_{so})$ з вольт-амперною характеристикою 2 конденсаторної батареї $I_C X_C(I_s)$.

Напруга на генераторі залежить від ємності конденсаторів: чим менша ємність C , тим більший кут γ . При малих значеннях ємності, менших за C_{cr} , характеристика $I_C X_C(I_s)$ не перетинається з характеристикою неробочого ходу та генератор не збуджується. Такому випадку відповідає критична вольт-амперна конденсаторної батареї 3.

У низці випадків початок процесу самозбудження асинхронного генератора може бути забезпечений розрядом на обмотку попередньо зарядженої конденсаторної батареї.

$$\text{Кут } \gamma \text{ визначається як } \operatorname{tg} \gamma = \frac{U_{so}}{I_{so}} = \frac{X_C I_{so}}{I_{so}} = X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Другим способом самозбудження є самозбудження під навантаженням, яке потребує збільшення ємності конденсаторів та струму обмотки статора (рис. 5). Навантажувальна характеристика 2 переміщується відносно характеристики неробочого ходу 1 на величину струму короткого замикання I_{sk} по горизонтальній осі.

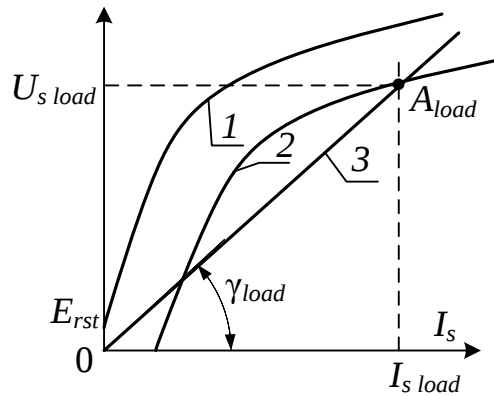


Рисунок 4 – Процес самозбудження асинхронного генератора під навантаженням

Точка A характеризує закінчення самозбудження. При цьому

$$\operatorname{tg} \gamma_{load} = \frac{U_s}{I_{s\ load}} = \frac{X_{C\ load} I_{s\ load}}{I_{s\ load}} = X_{C\ load} = \frac{1}{\omega C_{load}},$$

де γ_{load} – кут нахилу вольт-амперної характеристики конденсатора для самозбудження асинхронного генератора під навантаженням;

$I_{s\ load}$ – струм обмотки статора для самозбудження асинхронного генератора під навантаженням;

$X_{C\ load}$ – ємнісний опір конденсатора для самозбудження асинхронного генератора під навантаженням;

C_{load} – ємність конденсатора для самозбудження асинхронного генератора під навантаженням.

Оскільки кут нахилу вольт-амперної характеристики конденсатора для самозбудження асинхронного генератора під навантаженням менший за кут при неробочому ході, $\gamma_{load} < \gamma$, ємність конденсатора для самозбудження асинхронного генератора під навантаженням має бути більшою за ємність при неробочому ході, $C_{load} > C$.

Процес самозбудження асинхронного генератора також може використовувати явище параметричного резонансу [5]. Асинхронні генератори з симетричним ротором і ємністю на виході являють собою R - L -

С-контур з періодично змінюваною індуктивністю обмоток, у якому можуть виникати електромагнітні коливання, які мають параметричну природу.

Якщо відсутні електричні втрати в контурі, самозбудження асинхронного генератора забезпечується при будь-яких співвідношеннях активного та індуктивного опорів ротора по поздовжній осі. Якщо в контурі є електричні втрати, то співвідношення обмежується мінімально припустимою величиною постійної часу затухання екрануючих перехідних струмів.

В останній час використовуються електромашинні джерела енергії з асинхронним генератором зі збудженням за допомогою вентильних перетворювачів (наприклад, автономних інверторів). У цьому випадку величина залишкової ЕРС не повинна бути меншою за величину порогової напруги елементів перетворювачів.

Для масивного сталевого ротора з тонким екраном з міді, а також для масивного сталевого зубчастого ротора з торцевими мідними кінцями асинхронний генератор стало збуджується при розрахунковому значенні ємності. У малопотужних асинхронних генераторах використовується конденсаторне збудження.

Якщо асинхронний генератор виконується на базі серійного асинхронного двигуна з шихтованим осердям та короткозамкненою обмоткою ротора, то для збудження необхідно використовувати тільки конденсатори.

Довгий час ємність конденсаторної батареї для різних способів самозбудження визначалась експериментальним способом. Це обумовило появу довідникових таблиць ємностей залежно від потужності генератора та типу навантаження. На просторах Інтернету поширюється одна й та сама таблиця [6], яку всі поширюють та критикують за те, що значення в таблиці не збігаються з розрахунковими.

4. РОБОТА АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПІД НАВАНТАЖЕННЯМ В АВТОНОМНОМУ РЕЖИМІ

Якість роботи асинхронного генератора при автономному навантаженні оцінюється зовнішньою характеристикою, яка є залежністю напруги від струму обмотки статора $U_s(I_s)$ при постійних частоті обертання, $n = \text{const}$, та коефіцієнті потужності, $\cos\varphi = \text{const}$. Зовнішня характеристика асинхронного генератора при автономному навантаженні є м'якою, тобто при збільшенні навантаження (струму) напруга сильно зменшується.

Реактивна потужність конденсатора Q_C визначається сумою реактивних потужностей генератора Q та навантаження Q_{load} :

$$Q_C = Q + Q_{load} \text{ або } Q_C = m_s U_C I_C.$$

Реактивна потужність генератора може визначатися через активну потужність генератора та кут φ_o , який визначається через значення коефіцієнта потужності генератора при неробочому ході $\cos\varphi_o$:

$$Q = P \tan\varphi_o.$$

Реактивна потужність навантаження визначається через активну потужність навантаження на коефіцієнт потужності навантаження $\cos\varphi_{load}$:

$$Q_{load} = P_{load} \tan\varphi_{load}.$$

Виконуючи аналітичні перетворення, можна отримати остаточну формулу для визначення реактивної потужності конденсаторної батареї:

$$Q_C = P_{load} (\tan\varphi_o + \tan\varphi_{load}).$$

Необхідна ємність конденсаторної батареї при роботі асинхронного генератора під навантаженням може визначатися за визначенням ємнісного опору, закону Ома та реактивної потужності

$$X_C = -\frac{1}{\omega_s C},$$

$$U_C = I_C X_C;$$

$$Q_C = m_s U_C I_C;$$

$$C = \frac{1}{\omega_s X_C} = \frac{I_C}{\omega_s U_C} = \frac{Q_C}{\omega_s m_s U_C^2} = \frac{P_{load} (\operatorname{tg} \varphi_o + \operatorname{tg} \varphi_{load})}{\omega_s m_s U_C^2}.$$

Із виведених співвідношень видно, що при зміні активної потужності P_{load} або характеру навантаження $\cos \varphi_{load}$ асинхронного генератора ємність конденсаторів необхідно регулювати.

5. РОЗРАХУНОК ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ АВТОНОМНОМУ НАВАНТАЖЕННІ

Для розрахунку характеристик асинхронного генератора було використано асинхронний двигун потужністю 3 кВт синхронною частотою обертання 1500 об/хв. Це моя бакалаврська робота.

Методик проєктування саме асинхронних генераторів не існує. Тому за методикою проєктування асинхронних двигунів [7] було спроектовано асинхронний генератор, максимально наближений до асинхронного двигуна серії АИР.

Для виконання розрахунків використовувалась система комп'ютерної алгебри SMath Studio [8], яка має вільний доступ (аналог системи Mathcad). Порівняно з системою Mathcad система SMath Studio займає менше місця, працює під операційними системами Windows та Linux, має підтримку одиниць вимірювання, український інтерфейс, системи диференціальних рівнянь розв'язує з більшою точністю, працює з файлами з розширенням .xmcd.

Початок лістингу програми наведено на рис. 5.

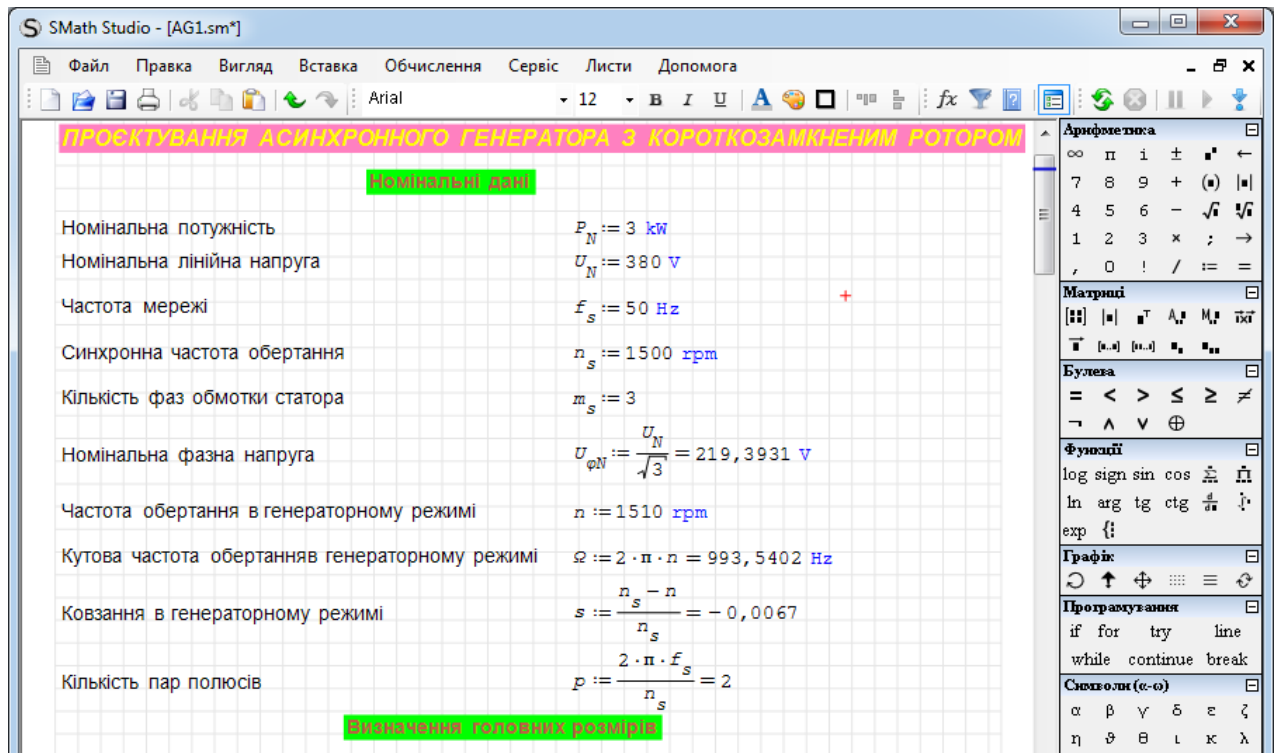


Рисунок 5 – Початок програми з розрахунку характеристик асинхронного генератора

Пропонується процес самозбудження асинхронного генератора проводити при неробочому ході, тобто при вимкненому навантаженні (див. рис. 1, перемикач S розмікнуто).

Розрахункові вирази, які існують для визначення ємності, зазначено в [9]. Виконано розрахунки за зазначеними формулами (рис. 6).

Струм неробочого ходу обмотки статора $I_{s0} := 2,91 \text{ A}$

Коефіцієнт потужності неробочого ходу $\cos \varphi_0 := 0,079$

Ємність конденсаторної батареї (по Падалко)

$$C_1 := \frac{I_{s0} \cdot \sqrt{1 - (\cos \varphi_0)^2}}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot U_{\varphi N}} = 42,0882 \text{ } \mu\text{F}$$

$$C_2 := \frac{1 - s}{2 \cdot \pi \cdot f_s} \cdot \frac{I_{sN}}{U_{\varphi N}} = 83,2147 \text{ } \mu\text{F}$$

Рисунок 6 – Розрахунок ємностей конденсатора у фазній обмотці статора для самозбудження асинхронного генератора при неробочому ході

За довідниковими даними, отриманими експериментальним способом за невідомою методикою, що також зазначено в [9], ємність конденсатора має становити близько 40 мкФ. Отже, величини відрізняються в рази.

Визначення ємності конденсатора у фазній обмотці статора для самозбудження асинхронного генератора за номінальними або паспортними даними виконати неможливо.

Пропонується визначати ємності та розраховувати характеристики за математичною моделлю та схемою заміщення асинхронного генератора, зазначеними в розділі 1. Для визначення величин, які входять до математичної моделі, необхідно виконувати електромагнітний розрахунок

асинхронного генератора. В цій роботі цей розрахунок не наводиться.

Математична модель асинхронного генератора при неробочому ході при незмінній частоті обертання матиме вигляд:

$$\underline{I}_s = \underline{I}_{so} + (-\underline{I}'_r);$$

$$\underline{I}_s = \underline{I}_C;$$

$$\underline{I}_{so}(R_m + jX_m) + \underline{I}_C(R_s + jX_{\sigma s} + jX_C) = 0;$$

$$\underline{E}'_r = \underline{I}'_r \cdot \frac{R'_r}{s} + j\underline{I}'_r X'_{\sigma r}.$$

Зважаючи на те, що ємність конденсатора в одній фазі обмотки статора визначається як $C = \frac{1}{2\pi f_s X_C}$, то розв'язуючи математичну модель асинхронного генератора як систему рівнянь можна визначити необхідну ємність конденсатора однієї фази для забезпечення самозбудження генератора.

Фрагмент розрахунку наведено на рис. 7.

СМATH Studio - [AG1.sm*]

Файл ПРАВКА Вигляд Вставка Обчислення Сервіс Листи Допомога

Режим неробочого ходу

$$\underline{E}_{so} := U_{\phi N} + \underline{I}_{sN} \cdot (R_s + i \cdot X_{\sigma s}) = (233,6939 + 19,0867 \cdot i) \text{ V} \quad |\underline{E}_{so}| = 234,4721 \text{ V}$$

$$\underline{I}'_r := \frac{-\underline{E}_{so}}{\frac{R'_r}{s} + i \cdot X'_{\sigma r}} = (0,8365 + 0,0804 \cdot i) \text{ A} \quad |\underline{I}'_r| = 0,8403 \text{ A}$$

$$\underline{I}_C := \underline{I}_{so} + \underline{I}'_r = (3,7465 + 0,0804 \cdot i) \text{ A}$$

$$\underline{X}_C := -\frac{\underline{E}_{so}}{\underline{I}_C} + R_s + i \cdot X_{\sigma s} = (-59,9478 - 0,4047 \cdot i) \Omega \quad |\underline{X}_C| = 59,9491 \Omega$$

$$C := \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot \underline{X}_C} = (-5,3095 \cdot 10^{-5} + 3,5843 \cdot 10^{-7} \cdot i) \text{ F} \quad |C| = 53,0967 \mu\text{F}$$

Рисунок 7 – Фрагмент програми з розрахунку ємностей конденсатора у фазній обмотці статора для самозбудження асинхронного генератора

За розрахунковою ємністю 53 мкФ обирається стандартний конденсатор на 220 В [10]. Його ємність становитиме 68 мкФ. Розміри циліндричного конденсатора становлять 22 x 25 мм (рис. 8).

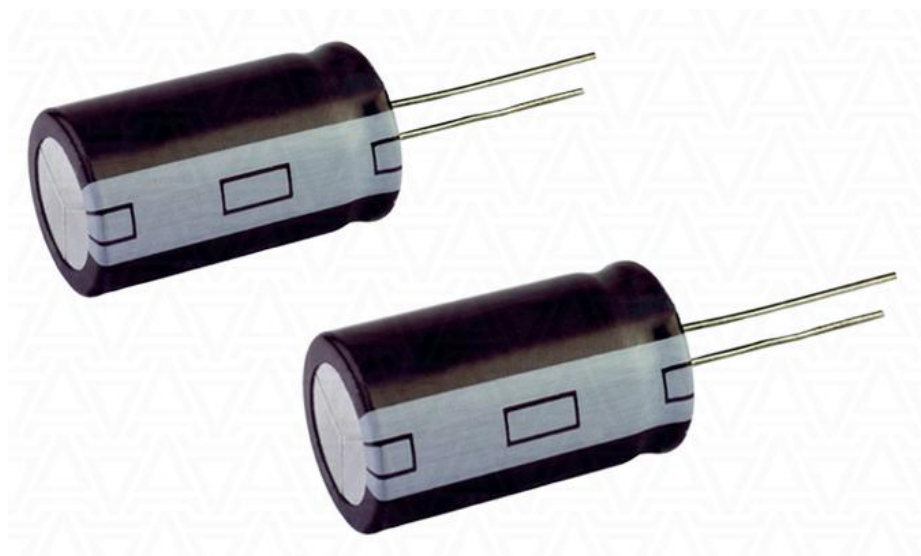


Рисунок 8 – Конденсатори електролітичні 68 мкФ

Правильність вибору ємності конденсаторної батареї підтверджено моделюванням за допомогою пакету програм MATLAB Simulink, що опубліковано в [11].

ВИСНОВКИ

Досвід експлуатації асинхронних генераторів середньої потужності довів, що вони можуть застосовуватися не тільки для гідро- або вітроелектростанцій малої потужності, але й для живлення пересувних об'єктів. Перевагами асинхронних генераторів серед інших електричних генераторів є вища надійність, простота в обслуговуванні, менші масогабаритні показники. Але необхідність джерела реактивної потужності для створення магнітного поля стримує їхнє широке застосування.

Зважаючи на принцип оборотності електричних машин, пропонується як генератори використовувати серійні асинхронні двигуни. Для дослідження був обраний спроектований асинхронний двигун потужністю 3 кВт. синхронною частотою обертання 150 об/хв. Це рішення ґрунтується на доступності та відпрацьованості технології виготовлення асинхронних двигунів.

Як відомо, для роботи асинхронної машини в генераторному режимі необхідно приєднати до фазних обмоток статора паралельно навантаженню три однакових конденсатори. Електрична ємність кожного конденсатора, яка визначається за відомою формулою, не завжди збігається з параметричним рядом ємностей конденсаторів, які випускаються промислово. Тому треба розуміти, що ввімкнення асинхронного генератора відбуватиметься не з повною потужністю або не з синхронною частотою обертання.

Результати досліджень опубліковані в [11].

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Мазуренко Л.И. Асинхронные генераторы с вентильным и вентильно-емкостным возбуждением для автономных энергоустановок / Л.И. Мазуренко, А.И. Лищенко – К. : Наукова думка, 2011. – 271 с.
2. Осташевський М.О. Електричні машини і трансформатори : навч. посібник / М. О. Осташевський, О. Ю. Юр'єва; за ред. В. І. Мілих. – Харків : ФОП Панов А. М., 2017. – 452 с.
3. Кудря С.А. Процесс самовозбуждения автономного асинхронного генератора / С.А. Кудря, Ю.Н. Перминов, В.Ф.Буденный // Вітроенергетика. – 2012. – №2. – С.55–57.
4. Ченчевой В. В. Особенности самовозбуждения автономного источника электроэнергии на базе асинхронного генератора / В. В. Ченчевой, Д. И. Родькин, А. П. Черный, Г. Г. Юдина // Інженерні та освітні технології в електротехнічних і комп'ютерних системах. – 2014. – № 2 (6). – С. 37–55.
5. Марков В.С. К процессу возбуждения асинхронных генераторов / Марков В.С., Поляков И.В. // Вісник НТУ «ХПІ». – 2015. – №5 (1114). – С. 62-66.
6. Все о двигателе. Пуск асинхронного генератора как двигателя. Режим доступа : <https://avtika.ru/pusk-asinhronnogo-dvigatelya-kak-generatora>. – Дата звертання : 01 листопада 2020.
7. Мілих В.І. Проектування трифазних асинхронних двигунів з короткозамкнутою обмоткою ротора: навч. посібник [для студ. електротехн. спеціальностей]. – Харків : НТУ «ХПІ», 2009. – 96 с.
8. Офіційний сайт проєкту SMath Studio. Режим доступу <https://ru.smath.com/%D0%BE%D0%B1%D0%B7%D0%BE%D1%80/SMathStudio/%D1%80%D0%B5%D0%B7%D1%8E%D0%BC%D0%B5>. – Дата звертання 01 вересня 2020 року.
9. Падалко Д.А. Электромагнитные процессы генерирования электроэнергии в мехатронной системе с асинхронной машиной : дис. канд.

техн. наук : 05.09.03 / Д.А. Падалко. – Томск. – 2016.

10. Офіційний сайт ВАТ «АС Енергія Глобал». Режим доступу : <https://asenergi.com/catalog.html>. – Дата звертання : 28 жовтня 2020 .

11. Свешнікова О.В. Можливості застосування асинхронних двигунів серії АИР як генераторів електричної енергії / О.В. Свешнікова // Теоретичні та практичні дослідження молодих вчених : зб. тез доп. 14-ї Міжнар. наук.-практ. конф. магістрантів та аспірантів, 1-4 грудня 2020 р. / ред. Є. І. Сокол ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т" [та ін.]. – Харків : НТУ "ХПІ", 2020. – С.192. – Режим доступу : http://repository.kpi.kharkov.ua/bitstream/KhPI-Press/49732/1/Conference_NTU_KhPI_2020_Teor_ta_prakt_doslidzhennia_molod_vchenykh.pdf.