

Conclusions. Today, renewable energy is one of the most promising areas of development of the global energy system. In the countries of the world and in Ukraine, there is a positive trend towards more intensive use of renewable energy sources. However, the main problems on the way to the complete transition of countries to RES remain the high capital intensity of projects, the imperfection of the legislative framework, and the lack of necessary financing. Therefore, it is necessary to improve legislation, develop measures to improve the investment climate in countries, and promote the implementation of effective investment projects in renewable energy.

Bibliography:

1. Smith J. Global Trends in Renewable Energy: A Comprehensive Review. 80 pages, 2021.
2. Green A. Renewable Energy Policies and Practices in Ukraine: Challenges and Opportunities.,36 pages, 2022,
3. Renewable Energy Outlook: Global Perspectives. International Energy Agency. 524 pages, 2023.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-388-0-10>

POWER DISTRIBUTION OF AN INDUCTION MACHINE IN MOTOR AND GENERATOR MODES OF OPERATION

РОЗПОДІЛ ПОТУЖНОСТЕЙ АСИНХРОННОЇ МАШИНИ У ДВИГУННОМУ ТА ГЕНЕРАТОРНОМУ РЕЖИМАХ РОБОТИ

Shurub Yu. V.

*Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
Senior Researcher,
Institute of Electrodynamics
of the National Academy
of Sciences of Ukraine
Kyiv, Ukraine*

Шуруб Ю. В.

*кандидат технічних наук, доцент,
старший науковий співробітник,
Інститут електродинаміки
Національної академії наук України
м. Київ, Україна*

При побудові асинхронного генератора на базі асинхронного двигуна загальнопромислового призначення постає питання допустимої по тепловому навантаженню потужності, що може виробляти асинхронна машина у генераторному режимі роботи [1].

У номінальному режимі роботи в якості двигуна асинхронна машина споживає електричну потужність

$$P_{1\text{дв}} = \sqrt{3}U_N I_N \cos \phi_{\text{дв}} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100, \quad (1)$$

де U_N, I_N – номінальні лінійні напруга та струм статора, $\cos \phi_{\text{дв}}$ – номінальний коефіцієнт потужності двигуна, P_N – номінальна механічна потужність двигуна на валу, η_N – номінальний ККД двигуна.

У генераторному режимі та же асинхронна машина виробляє електричну потужність

$$P_{1\text{ген}} = \sqrt{3}U_{\text{л}} I_{\text{л}} \cos \phi_{\text{ген}}, \quad (2)$$

де $\cos \phi_{\text{ген}}$ – коефіцієнт потужності асинхронної машини у генераторному режимі, методика розрахунку якого базується на використанні схеми заміщення асинхронної машини з урахуванням насичення магнітного кола та змінних втрат у сталі.

При умові підтримання стабільної лінійної напруги генератора $U_{\text{л}} = U_N$, допустиме тривале значення $P_{1\text{ген}}$ визначимо як потужність, при якій лінійний струм не перевищує номінального значення, тобто $I_{\text{л}} = I_N$. Тоді допустима (габаритна) потужність асинхронного генератора у тривалому симетричному режимі роботи дорівнює

$$P_{1\text{ген}} = \sqrt{3}U_N I_N \cos \phi_{\text{ген}} = P_{1\text{дв}} \frac{\cos \phi_{\text{ген}}}{\cos \phi_{\text{дв}}} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100 \cdot \frac{\cos \phi_{\text{ген}}}{\cos \phi_{\text{дв}}}. \quad (3)$$

У формулі (3) невідомим є параметр $\cos \phi_{\text{ген}}$. Інші параметри є каталожними даними.

Відзначимо, що згідно з (3) при однакових струмах статора та $\cos \phi$ потужність генератора була б у $100 \eta_N^{-1}$ разів більше номінальної механічної потужності двигуна. Однак, дослідження [2] показали, що відношення коефіцієнтів потужності у генераторному режимі та режимі двигуна $\frac{\cos \phi_{\text{ген}}}{\cos \phi_{\text{дв}}}$ при номінальних значеннях напруг та струмів завжди менше одиниці. Це означає згідно з формулою (3), що при виконанні умови неперевикнення допустимого теплового навантаження асинхронна машина в генераторному режимі здатна виробляти меншу

електричну потужність, ніж потужність, що споживає та же машина у номінальному режимі двигуна.

Відзначимо, що співвідношення $\frac{\cos \phi_{ген}}{\cos \phi_{об}}$ є відношенням між потужністю, що генератор віддає у мережу, та споживаною з мережі потужністю двигуна. А відношення номінальних потужностей у генераторному (електрична потужність) та двигунному (механічна потужність) режимах визначимо, як ступінь використання асинхронного двигуна у генераторному режимі

$$K = \frac{P_{ген}}{P_N} = \frac{100 \cdot \cos \phi_{ген}}{\eta_N \cdot \cos \phi_{об}}. \quad (4)$$

Отже, при проектуванні асинхронного генератора на базі асинхронного двигуна загальнопромислового призначення необхідно знижувати його потужність порівняно з номінальною споживаною електричною потужністю $P_{об} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100$ у $\frac{\cos \phi_{ген}}{\cos \phi_{об}}$ разів. Наприклад, розрахунки [2] показали, що для двигуна 4A100L6У3 з $P_N = 2,2$ кВт, $2p = 6$ і $\eta_N = 81\%$ номінальна споживана електрична потужність $P_{об} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100 = 2,7$ кВт, а відношення $\frac{\cos \phi_{ген}}{\cos \phi_{об}} = 0,71$. Отже, при симетричному навантаженні габаритна потужність асинхронного генератора на базі цього двигуна дорівнює $P_{ген} = \frac{P_N}{\eta_N} \cdot 100 \cdot \frac{\cos \phi_{ген}}{\cos \phi_{об}} = 1,9$ кВт. Ступінь використання двигуна у генераторному режимі при умові, що струм статора не перевищує номінального значення $K = 0,88$.

Проаналізуємо розподіл споживаної та тієї, що виробляється, потужностей та складових втрат потужності для асинхронної машини у двигунному та генераторному режимах роботи при номінальному струмі статора згідно енергетичним діаграмам для двигуна та генератора. Складові цих діаграм: P_1 – електрична потужність на запусках статора, $\Delta P_{м1} = I_1^2 R_1$ та $\Delta P_{м2} = I_2^2 R_2$ – втрати у міді статора та ротора відповідно, $\Delta P_{ст}$ – втрати у сталі, $P_{ем}$ – електромагнітна потужність, що передається через повітряний зазор, $P_{мех}$ – повна механічна потужність, $\Delta P_{об}$ та $\Delta P_{мех}$ – додаткові та механічні втрати, P_2 – корисна механічна потужність на валу.

Для аналізу візьмемо асинхронний двигун 4A100L6У3 (2,2 кВт, $2p=6$). Дані за складовими енергетичної діаграми (Вт) при номінальному струмі статора зведені у табл. 1 (2-ий та 3-ий стовпчики).

Складові механічної потужності $\Delta P_{доб}$ та $\Delta P_{мех}$, P_2 для генераторного режиму не визначались, визначалась тільки повна механічна потужність $P_{мех}$. Також визначались сумарні втрати, що гріють, $\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{m1} + \Delta P_{cm} + \Delta P_{m2}$, складові цих втрат ΔP_{m1} , ΔP_{cm} , ΔP_{m2} розраховувались за схемою заміщення.

Таблиця 1

	Двигун	Генератор ($I_1 = I_N$)	Генератор ($\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma N}$)
P_1 , Вт	2716	2032	2115
ΔP_{m1} , Вт	329	329	411
ΔP_{cm} , Вт	33	52	56
$P_{ем}$, Вт	2364	2413	2514
ΔP_{m2} , Вт	143	114	134
$P_{мех}$, Вт	2221	2527	2638
$\Delta P_{доб}$, Вт	13		
$\Delta P_{мех}$, Вт	8		
P_2 , Вт	2200		
ΔP_{Σ} , Вт	605	495	605
I_1 , А	5,60	5,60	6,25
$\cos \phi$	0,73	0,52	0,59

З табл. 1 видно, що при номінальному струмі статора для двигуна, що розглядається, у генераторному режимі сумарні втрати ΔP_{Σ} менші за сумарні втрати у двигунному режимі (номінальні втрати). При цьому втрати у міді статора є рівними (оскільки є рівними струми статора), а втрати у міді ротора у генераторному режимі менші, ніж у двигунному. Втрати у сталі у генераторному режимі декілька більші, що пояснюється ростом ЕРС у області генераторного режиму порівняно з ЕРС холостого ходу у зв'язку із зміною фази струму статора та падінням напруги на опорі статора R_1 .

Проведемо додатково розрахунок аналогічних характеристик того ж двигуна у генераторному режимі для випадку, коли сумарні втрати ΔP_{Σ} не перевищують номінального значення двигунного режиму

($\Delta P_{\Sigma N} = 605$ Вт). Розраховані за схемою заміщення складові енергетичної діаграми у цьому випадку, а також значення струмів статора та $\cos \phi$, наведені у табл. 1 (4-ий стовпчик). При цьому струм статора у генераторному режимі перевищує номінальне значення (відповідно, і втрати у обмотці статора більші), а втрати у обмотці ротора, як і раніше, менші, ніж у двигунному режимі. Коефіцієнт потужності $\cos \phi$ та ступінь використання двигуна у генераторному режимі

$$K = \frac{P_{1gen}}{P_N} = \frac{U_N \cdot I_{(\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma N})} \cdot \cos \phi_{gen(\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\Sigma N})}}{U_N \cdot I_N \cdot \eta_N \cdot \cos \phi_{\delta g}} = 0,95 \quad (5)$$

декілька більші, ніж при прийнятті лімітером номінального струму статора (у цьому випадку $K = 0,88$), однак обмотка статора при цьому несе підвищене теплове навантаження.

Література:

1. Мазуренко Л.І., Попович О.М., Гребеніков В.В., Бібік О.В., Головань І.В., Джюра О.В., Шуруб Ю.В., Вербовий А.П., Романенко В.І. Електричні машини змінного струму та електромеханічні системи на їх основі. *Праці Ін-ту електродинаміки НАН України*. 2011. Вип. 29. С. 62–70.
2. Shurub Y., Morozov-Leonov O. Determination of Admissible Power and Digital Filtering Algorithm Development of Discretely Regulated Autonomous Induction Generators. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2023. Pp. 1-5. DOI: 10.1109/KhPIWeek 61412.2023.10312955.