

ВПЛИВ ЕФЕКТУ ПЕРЕНАВЧАННЯ ПАРАМЕТРИЧНО ІНВАРІАНТНОГО НЕЙРОННОГО ОПТИМІЗАТОРА ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ В АСИНХРОННОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

Приймак Б.І., к.т.н., доц., Гаман Ю.С., Кульбашний О.І., магістранти
кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. В асинхронних електроприводах (АЕП) з мінімізацією сумарних втрат потужності перспективно використовувати штучні нейронні мережі (НМ) для обчислення енергетично оптимального потоку двигуна. При цьому, як показано в [1], з метою підвищення точності оптимізації втрат бажано забезпечити параметричну нечутливість проекрованої НМ до варіацій активних опорів статора та ротора двигуна. Тобто, надати проектованому нейронному оптимізатору втрат властивість параметричної інваріантності.

Одним із найважливіших параметрів архітектури НМ, який визначає її обчислювальну потужність, є кількість нейронів S у захованому шарі мережі. На сьогодні в теорії штучного інтелекту ще не розроблено точних аналітичних методів визначення цього параметру. Тому на практиці потрібне значення S рекомендується визначати експериментальним шляхом. При цьому на цей вибір значною мірою може впливати ефект перенавчання мережі.

Отже, для якісного розв'язання задачі синтезу НМ виникає потреба у встановленні залежності між точністю функціонування мережі та значенням S при існуванні явища перенавчання. У даній праці, згідно із запропонованою в [2] методикою, виконано дослідження точності роботи параметрично інваріантного нейромережного оптимізатора втрат потужності в АЕП. Також встановлено раціональне значення S , що уможливило отримання високої точності оптимізації втрат за допомогою досить простої мережі.

Метою роботи є дослідження впливу ефекту перенавчання на точність роботи параметрично інваріантного нейронного оптимізатора втрат потужності в асинхронному електроприводі та визначення раціональної кількості нейронів у захованому шарі мережі.

Матеріали досліджень. Електромагнітні втрати потужності P в асинхронному двигуні (АД) складаються з електричних втрат в активних опорах статора та ротора, магнітних втрат в залізі статора і ротора, а також з додаткових втрат. Вираз для сумарних втрат потужності в АД наведено в [1].

Оптимальне значення Ψ_r^o модуля вектора потокозчеплення ротора Ψ_r (у статті верхнім індексом "о" та нижнім індексом "n" позначатимуться відповідно оптимальні та номінальні значення величин) в сенсі мінімуму втрат потужності $P \Rightarrow \min$ для усталених процесів його роботи при постійних електромагнітному моменті M_E , швидкості ротора ω та опорах статора R_s і ротора R_r буде розв'язком рівняння [1]

$$\Psi_r^o = \text{solve} \left(\frac{\partial P(\Psi_r, \omega, M_E, R_s, R_r)}{\partial \Psi_r} \Big|_{\omega, M_E, R_s, R_r} = 0 \right) \quad (1)$$

Вираз (1) дозволяє врахувати вплив на Ψ_r^o варіацій активних опорів АД. Опори R_r та R_s є нестабільними параметрами, що істотно змінюються в залежності від теплового стану двигуна. За наведеною в [3] класифікацією нестабільних параметрів, опори R_r та R_s можуть бути віднесені до випадкових параметрів, оскільки вони як за невідомих, так і за відомих наперед характеристик змін навантаження та швидкості двигуна залежать також і від температури навколишнього середовища, що є випадковим чинником.

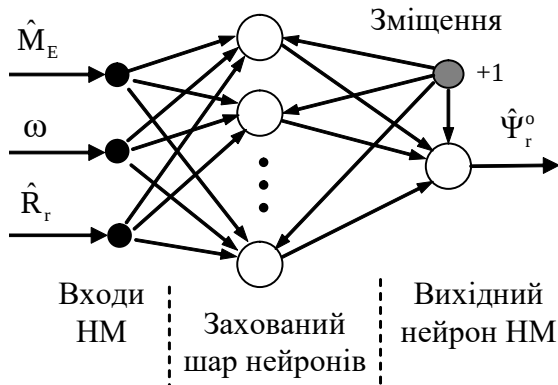


Рисунок 1 – Архітектура мережі

Для задачі мінімізації сумарних втрат в АЕП добре підходить НМ з прямим передаванням сигналу. Процес проектування НМ у загальному випадку вимагає вибору кількості нейронів у захованому шарі, а також потребує навчання мережі. На рис. 1 представлена архітектура НМ, яка застосовується в даній роботі. На входи нейронної мережі поступають оцінка моменту $\hat{M}_E$, швидкість ротора та оцінка опору ротора $\hat{R}_r$. На виході НМ отримуємо оцінку оптимального поточкозчеплення ротора $\hat{\Psi}_r^o$.

Дослідження точності нейромережного оптимізатора втрат потужності в АЕП було проведено за методикою, яка викладена в [2]. Обчислення робились для типового двигуна потужністю 1.5 кВт за належності величин M_E , ω та R_r до множини $\Omega = \{M_E \in [10^{-2}, 1.5]M_{En}; \omega \in [10^{-2}, 1.0]\omega_n; R_r \in [0.5, 1.5]R_{rn}\}$. При цьому за варіаціями опору ротора визначалися варіації опору статора згідно з наступною приблизною залежністю $\Delta R_s = K_R \Delta R_r R_{sn}/R_{rn}$ [1].

Щоб отримати модифіковані навчальні множини формувалося приблизне значення $\hat{\Psi}_r^o$ оптимального поточкозчеплення Ψ_r^o , спотвореного адитивною похибкою вимірювання

$$\hat{\Psi}_r^o = \Psi_r^o + \xi \Psi_m, \quad (2)$$

де ξ - випадкова величина з нормальним законом розподілу, яка характеризується нульовим математичним сподіванням, середньоквадратичним відхиленням σ та дисперсією σ^2 .

Всього було утворено 6 модифікованих навчальних множин відповідно до 6-ти значень σ із множини $\sigma \in \{0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1, 0.12\}$. У дослідях використовувалося 6 значень кількості нейронів S із множини $S \in \{2, 3, 4, 5, 6, 7\}$. Кожен дослід полягав у тому, що відбувалося тренування НМ з S нейронами у захованому шарі при використанні модифікованої навчальної

множини зі значенням $\hat{\Psi}_r^o$, що визначалося за (2). Далі, для контрольної множини даних визначалося відносне відхилення втрат потужності δP від мінімально можливого значення, де базовою величиною для нормування були номінальні втрати.

На рис. 2-4 зображені результати дослідження при значенні $\hat{R}_r$, яке відповідно дорівнювало R_{rn} , $1.5R_{rn}$ та $0.5R_{rn}$ (номер кожної кривої є на одиницю меншим від адекватного їй значення S).

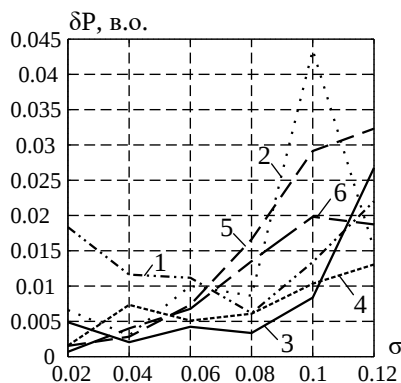


Рисунок 2 – Помилки оптимізації втрат при номінальних R_r та R_s

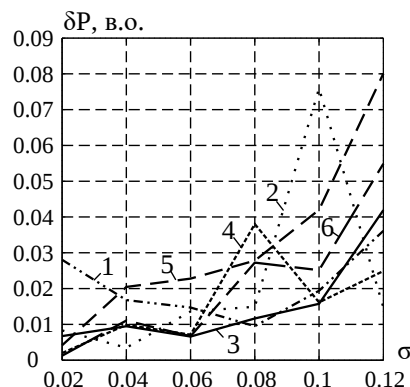


Рисунок 3 – Помилки оптимізації втрат при максимальних R_r та R_s

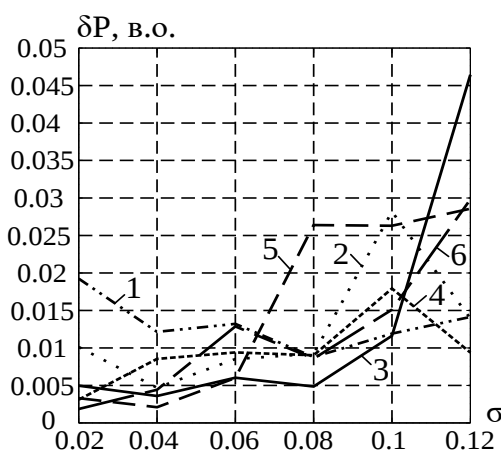


Рисунок 4 – Помилки оптимізації втрат при перенавчанні погіршується при кількості нейронів у прихованому шарі мережі $S > 5$. Встановлено, що, залежно від рівня похибок визначення поточкозчеплення для навчальної множини даних, доцільно вибирати в НМ $S=4$ ($\sigma < 0.1$) або $S=5$ ($\sigma \geq 0.1$).

Проаналізувавши графіки, які наведені на рис. 2-4, бачимо, що при меншому ніж 0.1 рівню шумів, раціональною кількістю нейронів є чотири, а при більшому – п'ять. Як видно з графіків, подальше збільшення кількості нейронів супроводжується зниженням точності НМ, що є наслідком ефекту перенавчання мережі.

Висновки. Виконано дослідження точності роботи параметрично інваріантного нейромережного оптимізатора втрат потужності в АЕП. Виявлено, що точність мінімізації втрат внаслідок впливу ефекту

перенавчання погіршується при кількості нейронів у прихованому шарі мережі $S > 5$. Встановлено, що, залежно від рівня похибок визначення поточкозчеплення для навчальної множини даних, доцільно вибирати в НМ $S=4$ ($\sigma < 0.1$) або $S=5$ ($\sigma \geq 0.1$).

Перелік посилань

1. Приймак Б.І. Синтез параметрично інваріантної нейронної мережі для оптимізації втрат в асинхронному електроприводі // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2005. – № 1 (16) – С. 3-7.
2. Приймак Б.І., Гаркович Н.В. Дослідження точності нейромережного оптимізатора втрат потужності в асинхронному електроприводі // Праці Ін-ту електродинаміки НАН України. – 2011. – № 3 (30). – С. 58-61.
3. Ходько С.Т. Проектирование систем управления с нестабильными параметрами.- Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. - 232 с.