УДК 621.316.91: 621.316.573

А.В. ФІОЛЕТОВ, НТУ «ХПІ», Харків, Україна
О.Г. СЕРЕДА, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПІ», Харків, Україна

Захист асинхронних електродвигунів від струмів перевантаження з урахуванням нелінійних спотворень фазних струмів

Застосування в електричних мережах нелінійних навантажень призводить до виникнення вищих гармонійних складових струму. При частотному регулюванні швидкості обертання асинхронних електродвигунів (ЕД) найбільш значущою буде 5-а гармоніка струму I_5. Зростають втрати в обмотках за рахунок поверхневого ефекту й ефекту близькості. Підвищення чутливості теплового захисту до струмів перевантаження з урахуванням нелінійних спотворень є важливим засобом забезпечення тривалого терміну служби асинхронних ЕД.

Відомі способи теплового захисту, в яких захисна часострумова характеристика $t_L = f(I_{\text{ph}})$ забезпечує зворотну залежність часу спрацьовування захисту t_L від середньоквадратичного (діючого) значення фазного струму I_{ph}. Недоліком розглянутого способу є той факт, що надійний захист гарантується лише за відсутності нелінійних спотворень синусоїдальної форми зміни фазних струмів.

Мета. Теоретичне обґрунтування, розробка та реалізації у вигляді алгоритму функціонування мікропроцесорного пристрою способу захисту ЕД від перевантаження з урахуванням нелінійних спотворень фазних струмів, який враховує додаткове нагрівання за наявності вищих гармонійних складових.

Додаткові втрати потужності, зумовлені вищими гармоніками струму [1]:

$$\Delta P_{\Sigma k} = \Delta P_r k_{\text{st}}^2 \sum_{n=2}^{k} \left(\frac{U_n}{nU_1} \right)^2 \left(\sqrt{n} + \sqrt{n \pm 1} \right) = \Delta P_r k_{\text{st}}^2 \sum_{n=2}^{k} k_{\text{d}n} , \qquad (1)$$

де ΔP_r – номінальні втрати в обмотках статора при синусоїдальному фазному струмі; k – порядок (номер) останньою з врахованих вищих гармонік; U_1 – напруга першої (основної) гармоніки; U_n – напруга n-ої гармоніки; $k_{\text{d}n}$ – коефіцієнт, що враховує зростання втрат в обмотках від n-ої гармоніки:

$$k_{\text{d}n} = \left(\frac{U_n}{nU_1} \right)^2 \left(\sqrt{n} + \sqrt{n \pm 1} \right) = \left(\frac{U_n}{U_1} \right)^2 \frac{\sqrt{n} + \sqrt{n \pm 1}}{n^2} . \qquad (2)$$

Рівняння (2) перетворюється наступним чином:

$$k_{\text{d}5} = 0{,}2 \cdot \left(I_5 / I_1 \right)^2 \cdot \frac{R^2 + 25R^2 \text{tg}^2 \varphi}{R^2 + R^2 \text{tg}^2 \varphi} = 0{,}2 \cdot \left(I_5 / I_1 \right)^2 \cdot \frac{1 + 25 \text{tg}^2 \varphi}{1 + \text{tg}^2 \varphi} , \qquad (3)$$

де R – активний опір обмотки ЕД на частоті 1-ої гармоніки струму I_1.

Додаткові втрати ΔP_5, зумовлені наявністю 5-ої гармоніки струму, визначаються коефіцієнтом $k_{\text{d}5}$. Еквівалентний фазний струм $I_{\text{ph}}^{/}$, що враховує додаткове нагрівання ЕД від впливу 5-ої гармоніки:

$$I_{\text{ph}}^{/} = I_{\text{ph}} \sqrt{1 + k_{\text{d}5}} . \qquad (4)$$

Коригування часу t_L пояснюється графіком рис. 1.

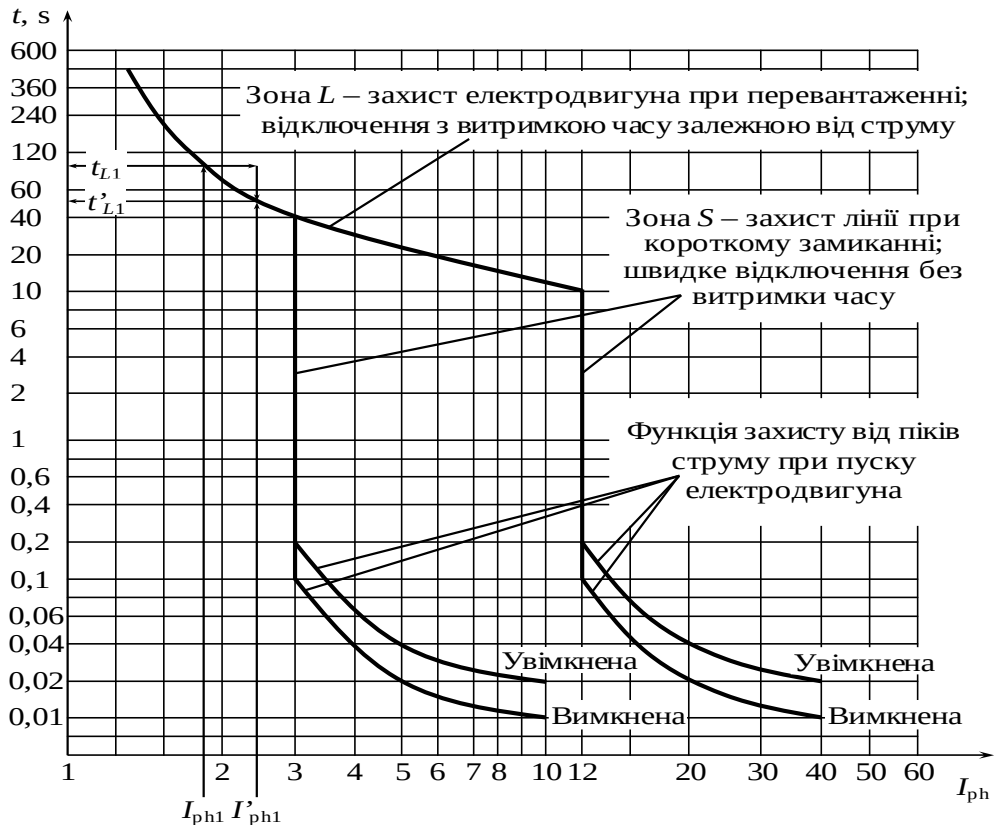

Рис. 1 – Часострумова захисна характеристика реле

Згідно вихідної залежності $t_L = f(I_{ph})$, справедливої при відсутності нелінійних спотворень (вищих гармонік струму), деякому значенню струму I_{ph1} відповідає час спрацьовування захисту t_{L1}. Якщо фазний струм несинусоїдальний, то значення I_{ph1} необхідно помножити на підвищувальний коефіцієнт $\sqrt{1+k_{d5}}$. Отримане еквівалентне значення фазного струму I'_{ph1} за своєю тепловою дією на ЕД буде еквівалентним дії струму 1-ої гармоніки. У цьому випадку час спрацьовування захисту необхідно зменшити до значення t'_{L1}, як показано на рис. 1.

Висновки. Запропоновано технічне рішення, яке дозволяє сформувати час спрацьовування апаратів релейного захисту ЕД від струмів перевантаження з урахуванням нелінійних спотворень фазних струмів.

Список літератури:

1. *Жежеленко И.В.* Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. – 4-е изд., перераб. и доп. / *И.В. Жежеленко* // – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.