

Н.Ю.Гарасьова, доц., канд. техн. наук, І.В.Савеленко, ас., К.Г.Петрова, студ. гр.ЕЕ-05м
 Кіровоградський національний технічний університет

Вибір параметрів фільтрокомпенсуючих пристроїв для мереж нижче 1000 В

В статті розглянуто питання вибору параметрів фільтрокомпенсуючих пристроїв в мережах до 1 кВ, виконано порівняння ефективності встановлення комплексу фільтрокомпенсуючих пристроїв, налаштованих на весь спектр гармонік та одного фільтрокомпенсуючого пристрою, налаштованого на частоту однієї з гармонік цього спектру.

фільтрокомпенсуючий пристрій, вищі гармоніки, коефіцієнт несинусоїдальності

Найбільш поширеним технічним засобом зменшення рівнів вищих гармонік (ВГ) напруги в сучасних системах електропостачання є фільтрокомпенсуючий пристрій (ФКП), який являє собою багатофункціональний пристрій для зменшення несинусоїдальності та для компенсації реактивної потужності. ФКП складається із послідовно з'єднаних індуктивного та ємнісного елементів, параметри яких підбираються таким чином, щоб на частоті налаштування спостерігалось явище резонансу.

Мета статті. Метою публікації є висвітлення методики та результатів розрахунку параметрів ФКП з врахуванням активних опорів ФКП для мереж нижче 1000 В.

Вибір параметрів ФКП для таких мереж має деякі особливості, які обумовлені наявністю значних активних опорів мережі, низькою добротністю його ланцюгів, неможливістю у більшості випадків на практиці виконати точне налаштування на резонансну частоту. Внаслідок незначної добротності ланцюгів ФКП, обумовлених значними активними опорами пристроїв, які використовуються в якості реакторів, а також опорами кабелів, шин та контакторів, ФКП в мережах до 1 кВ майже не відчують змін частоти напруги живлення, а також відхилення параметрів індуктивних та ємнісних елементів від номінальних значень [1].

Значення активних опорів елементів мережі та методи їх розрахунків для мереж з $U_{ном} < 1 \text{ кВ}$ знаходяться за відповідними довідниками аналогічно тому, як це робиться при розрахунках струмів короткого замкнення в таких мережах.

Коефіцієнт a_p з врахуванням активних опорів ФКП:

$$a_p = \frac{v^2 \operatorname{tg} \varphi_\phi}{\sqrt{1 + (v^2 - 1) \operatorname{tg}^2 \varphi_\phi}}, \quad (1)$$

де v – номер гармоніки, на частоту якої налаштовується ФКП;

$\operatorname{tg} \varphi_\phi = \frac{X_\phi}{R_\phi}$, X_ϕ та R_ϕ - сумарні активні та реактивні опори ланцюга ФКП.

Коефіцієнт струмозподілу між ФКП та мережею:

$$k_{vp} = k_{iv} = \sqrt{\frac{1 + \nu_p t g^2 \varphi_{екв}}{\left(1 + \frac{R_\phi}{R_{екв}}\right)^2 + \nu_p t g^2 \varphi_{екв}}}, \quad (2)$$

де $R_{екв}$ та $X_{екв}$ - еквівалентні активний та реактивний опори мережі живлення та навантаження на промисловій частоті, якщо вважати, що БК в цих мережах відсутні;

ν_p - гармоніка, на частоту якої налаштовується ФКП.

Із-за наявності похибок задання параметрів електрообладнання ФКП мають частоту налаштування, відмінну від розрахункової. У випадку, що розглядається:

$$k_{vp}^{(\Delta)} \approx \sqrt{\frac{1 + \nu_p t g^2 \varphi_{екв}}{\left(1 + \frac{R_\phi}{R_{екв}}\right)^2 + \frac{\nu}{R_{екв}^2} (X_{екв} \pm \Delta X_\phi)^2}}, \quad (3)$$

де $\Delta X_\phi = \pm \Delta X_{ок} \pm \nu_p^2 \Delta X_L$ - розлаштування ФКП, викликане відхиленням його параметрів від номінальних (відхилення параметрів БК, ректора та ФКП в цілому).

Кратність зниження напруги ν_p - і гармоніки після підключення ФКП цієї гармоніки з ідеальним резонансним налаштуванням:

$$k_{uv}^{(p)} = \frac{R_\phi}{R_{екв}} \cdot \frac{k_{vp}}{1 + \nu_p t g^2 \varphi_{екв}}. \quad (4)$$

На практиці значення k_{uv} обирають, виходячи зі структури амплітудного спектра напруги та значень окремих його складових.

В якості прикладу виконаємо вибір ФКП для встановлення в мережі 0,4 кВ трансформаторної підстанції машинобудівного підприємства з трансформатором ТМ-1000/10, навантаженням якого є нелінійне навантаження загальною потужністю 567 кВА, а також лінійне, потужністю 132 кВА та $\cos \varphi = 0,825$. Потужність КЗ на шинах 10 кВ $S_K = 150 \text{ МВА}$; дефіцит реактивної потужності складає 200 квар. Струм 3-ї гармоніки $I_3 = 48 \text{ А}$, струм 5-ї гармоніки $I_5 = 301 \text{ А}$, 7-ї складає $I_7 = 153 \text{ А}$. Напруга 3, 5, 7-ї гармонік у відсотках $U_{3*} = 7.3 \%$, $U_{5*} = 46.5 \%$, $U_{7*} = 23.6 \%$ відповідно; $K_U = 52.65 \%$.

Схема електропостачання споживачів 0.4 кВ та її схема заміщення наведені на рис.1.

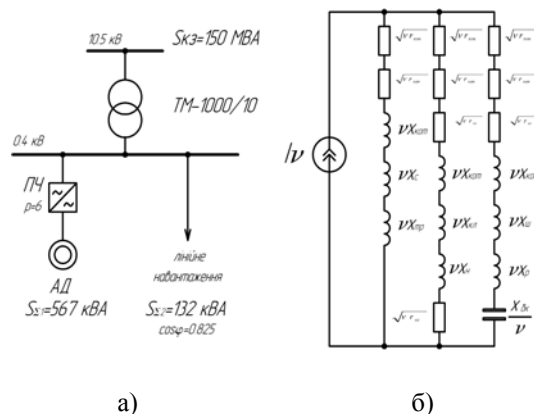


Рисунок 1 - Схема електропостачання (а) та її схема заміщення (б)

1. Опори схеми заміщення розраховуються за методикою [2] і складають:

$$X_c = 1 \text{ мОм},$$

$R_{mp} = 1.952 \text{ мОм}, Z_{mp} = 8.8 \text{ мОм}, X_{mp} = 8.72 \text{ мОм}$. Далі розраховуємо еквівалентні опори, поступово замінюючи декілька елементів одним:
 $X_{екв1} = 9.72 \text{ мОм}, R_{екв1} = 11.952 \text{ мОм}, X_{екв2} = 372 \text{ мОм}, R_{екв2} = 316 \text{ мОм}$.

Загальний еквівалентний опір схеми заміщення:

$$Z_{екв} = \frac{(R_{екв1} + jX_{екв1}) \cdot (R_{екв2} + jX_{екв2})}{(R_{екв1} + R_{екв2}) + j(X_{екв1} + X_{екв2})} = \frac{(11.952 + j9.72) \cdot (316 + j372)}{(11.952 + 316) + j(9.72 + 316)} =$$

$$= \frac{7519.386 \cdot e^{j88.77^\circ}}{462.219 \cdot e^{j44.8^\circ}} = 16.268 \cdot e^{j43.97^\circ} = 16.268 \cos 43.97^\circ + j16.268 \sin 43.97^\circ =$$

$$= (11.7 + j11.2) \text{ мОм}.$$

2. Розрахунки параметрів ФКП зводимо у табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахунок параметрів ФКП 3, 5 та 7-ї гармонік

№	Параметр	Формула	Номер гармоніки		
			3	5	7
1	Приблизна потужність БК, квар	$Q_{БК} \geq 1.2 \cdot k_c \cdot U_n \cdot I_v$	37.91	237.73	120.84
2	Потужність попередньо обраного ФКП, квар		84	240	145.5
3	Коефіцієнт струмозподілу між ФКП та мережею	$k_{vp} = \sqrt{\frac{1 + v_p \cdot tg^2 \varphi_{екв}}{\left(1 + \frac{R_{\phi v}}{R_{екв}}\right)^2 + v_p \cdot tg^2 \varphi_{екв}}}$	0.777	0.849	0.89
4	Кратність зниження напруг	$k_{uv}^{(p)} = \frac{R_{\phi v}}{R_{екв}} \cdot \frac{k_{vp}}{1 + v_p \cdot tg^2 \varphi_{екв}}$	0.18	0.1	0.083
5	Залишкова напруга, %	$U_{v*зал} = k_{uv}^{(p)} \cdot U_{v*}$	1.314	4.65	1.959
6	Коеф.несинусоїдальності після встановлення ФКП, %	$K_U = \sqrt{U_{3*зал}^2 + U_{5*зал}^2 + U_{7*зал}^2}$	5.21		
7	Загальна потужність встановлених БК, квар	$Q_{БК\Sigma} = Q_{БК3} + Q_{БК5} + Q_{БК7}$	469.5		

Згідно з ДЕСТ 13109-97 [3] нормально допустиме значення коефіцієнта несинусоїдальності для напруги 0,38 кВ складає 8 % (гранично допустиме 12 %), отже отримане значення не перевищує допустимого.

Даний розрахунок ґрунтується на використанні комплекту ФКП, налаштованих на частоти ВГ, які переважають в амплітудному спектрі струмів нелінійних навантажень, такий підхід визначається головним чином намаганням знизити рівень ВГ в мережі до мінімально можливого значення (теоретично до нуля). Але дослідження збитків, обумовлених ВГ, доводить, що збитки максимальні при значних напругах ВГ та зменшуються зі зниженням напруг, в залежності, близькій до квадратичної. Тому необхідність повного зниження рівнів ВГ практично відсутня; достатньо знизити їх до межі, яка визначається технічними вимогами. Очевидно, що при такому підході немає необхідності встановлювати значну кількість ФКП.

Проведемо розрахунок параметрів ФКП тільки 5-ї гармоніки, розрахунки зводимо у табл.2.

Таблиця 2 – Розрахунок параметрів ФКП 5-ї гармоніки

№	Параметр	Формула	Значення
1	Мінімальна потужність БК, квар	$Q_{pmin} \geq 1.2 \cdot k_c \cdot U_n \cdot I_\Sigma$	255.03
2	Коефіцієнт відносної потужності	$k_p = \frac{Q_p}{S_{кз}}$	$3.89 \cdot 10^{-2}$
3	Частки струмів 3 та 7-ї гармонік, що протікають через ФКП 5-ї гармоніки	$\sigma_v = \frac{1}{\frac{1}{k_p v_p^2} \cdot \left[1 - \left(\frac{v_p}{v_q} \right)^2 \right] + 1}$	$\sigma_{v3} = 1.2;$ $\sigma_{v7} = 0.665.$
4	Струм в колі БК, А	$I_{v\Sigma} = \sqrt{I_3 \sigma_{v3} + I_5 + I_7 \sigma_{v7}}$	322.9
5	Залишкова напруга гармонік після встановлення ФКП, %	$\Delta U_{v*} = U_{v*} \cdot (1 - \sigma_v)$	$\Delta U_{3*} = 1.46;$ $\Delta U_{5*} = 0;$ $\Delta U_{7*} = 7.8.$
6	Коефіцієнт несинусоїдальності, %	$K_U = \sqrt{\Delta U_{3*}^2 + \Delta U_{5*}^2 + \Delta U_{7*}^2}$	7.93

Висновки. Після проведення необхідних розрахунків виявилось, що в даному випадку доцільно використовувати тільки один ФКП, оскільки це забезпечує необхідне зниження несинусоїдальності напруги до вказаних меж. Тобто, для остаточного встановлення обираємо ФКП 5-ї гармоніки з такими параметрами: $Q_{БК5} = 360 \text{ квар}_3$ конденсатором КС2-0.38-40-373 та реактором РТСТ-820-0.0505.

Список літератури

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий.- 4-е изд., перероб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 2000.
2. Руденко В.С., Сенько В.И., Чажено И.М. Основы преобразовательной техники. М., Высшая школа, 1980.
3. ДЕСТ 13109-97 “Норми якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення”.
4. Аррилага Д., Бредлі Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. М.: Энергоатомиздат, 1990.
5. Климов В.П., Москалев А.Д. Способы подавления гармоник в системах электропитания // Практическая силовая электроника. – 2003, №6.

Н. Гарасева, И. Савеленко, Е. Петрова

Выбор параметров фильтрокомпенсирующих устройств для сетей ниже 1000 В

В статье рассмотрен вопрос выбора параметров фильтрокомпенсирующих устройств в сетях до 1 кВ, выполнено сравнение эффективности установления комплекта фильтрокомпенсирующих устройств, настроенных на весь спектр гармоник и одного фильтрокомпенсирующего устройства, настроенного на частоту одной из гармоник этого спектра.

N.Garasyova, I. Savelenko, K. Petrova

The choice of parameters of filtercompensate devices for networks is below 1000 V

In the article considered the question of choice of parameters of filtercompensate devices in networks to 1 kV, comparison of efficiency of establishment of complete set of the filtercompensate devices, adjusted on all spectrum of accordions and one filtercompensate device adjusted on frequency of one of accordions of this spectrum, is executed.

Одержано 15.05.10