

РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ ВЫСШИХ ГАРМОНИК ДЛЯ ТИРИСТОРНОГО РЕГУЛЯТОРА НАПЯЖЕНИЯ

Аналізується доцільність застосування фільтрів вищих гармонік для тиристорного регулятора напруги, який використовується в системах управління мікрокліматом ТСУ-2. Проведений розрахунок фільтрів, що знижують рівень гармонік, а також додаткових втрат активної потужності в асинхронному двигуні.

Анализируется целесообразность применения фильтров высших гармоник для тиристорного регулятора напряжения, используемого в системах управления микроклиматом ТСУ-2. Проведен расчет фильтров, снижающих уровень гармоник, а также дополнительных потерь активной мощности в асинхронном двигателе.

Expedience of application of filters of higher accordions is analysed for a thyristor's vr, in-use in the control systems by the microclimate of TSU-2. The calculation of filters reducing the level of accordions, and also additional losses of active-power, is conducted in an asynchronous engine.

Высшие гармоники напряжения и тока в системах электроснабжения нежелательны по ряду причин: появляются дополнительные потери в электрических машинах, трансформаторах и сетях; затрудняется компенсация реактивной мощности с помощью батарей конденсаторов; сокращается срок службы изоляции электрических машин и аппаратов; ухудшается работа устройств автоматики, телемеханики и связи.

Кривые токов и напряжений в электрических сетях могут рассматриваться как амплитудно-модулированные колебания со случайным законом изменения амплитуды и начальной фазы. В статье используется спектральный подход, основанный на представлении колебаний в виде совокупности элементарных колебаний. Выражение для тока $i(t)$ представляется рядом Фурье

$$i(t) = \sum_{v=1}^n I_{vm} \cdot \sin(v \cdot \omega \cdot t + \psi_v), \quad (1)$$

где $I_{vm} \cdot \sin(v \cdot \omega \cdot t + \psi_v)$ – гармоники или гармонические составляющие v -го порядка с амплитудой I_{vm} и начальной фазой ψ_v ; n – порядок (номер) последней из учитываемых высших гармоник.

Высшие гармоники, генерируемые в сеть той или иной нагрузкой, рассчитываются по параметрам схемы электроснабжения и характеристикам режима работы самой нагрузки. Тиристорный регулятор напряжения (ТРН) генерирует гармоники тока, кратные

$$v = p \cdot k \pm 1, \quad (2)$$

где $k = 0, 1, 2, \dots, n$; p – фазность преобразователя, $p = 3$.

Четные, третья и кратные трем гармоники компенсируются благодаря соединению обмоток статора в звезду. Таким образом, ТРН генерирует как в сеть, так и на нагрузку, гармоники, в основном 5-го и 7-го, а также 11-го и 13-го порядков (рис. 1).

Номинальный ток электродвигателя Д80В6П, подключенного к ТРН, составляет 1,4 А. Согласно [1], гармонический состав токов следующий: $I_5 = 0,28$ А, $I_7 = 0,2$ А, $I_{11} = 0,127$ А и $I_{13} = 0,108$ А.

При работе асинхронных двигателей в условиях несинусоидального напряжения возникают добавочные потери мощности, обусловленные высшими гар-

мониками тока в обмотках статора и ротора. Потерями в стали статора и ротора можно пренебречь.

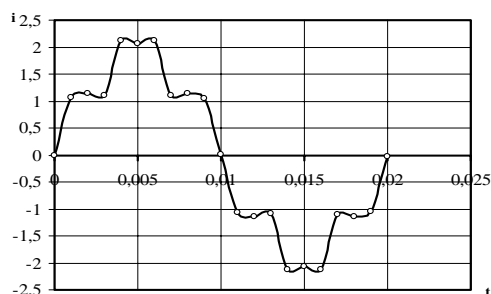


Рис. 1. Зависимость $i = f(t)$

Суммарные потери активной мощности при номинальной нагрузке составляют $\Delta P_n = 199,23$ Вт.

Добавочные потери в асинхронном двигателе, обусловленные током v -й гармоники:

$$\Delta P_{dv} = 3 \cdot I_v^2 \cdot (R_{ctv} + R'_{rotv}), \quad (3)$$

где R_{ctv} , R'_{rotv} – соответственно активное сопротивление статора и приведенное активное сопротивление ротора на частоте v -й гармоники.

При повышенных частотах (высокие порядки гармоник) в обмотках статора и ротора резко проявляется поверхностный эффект:

$$\begin{aligned} R_{ctv} &= R_{ct1} \cdot \sqrt{v}, \\ R'_{rotv} &= R'_{rot1} \cdot \sqrt{v}. \end{aligned} \quad (4)$$

где $R_{ct1} = 24,31$ Ом, $R'_{rot1} = 9,41$ Ом.

Результаты расчета по гармоникам сведены в таблицу.

Суммарные добавочные потери от всех гармоник тока: $\Delta P_n = 38,104$ Вт, что составляет 19,12 % от суммарных номинальных потерь в электродвигателе.

Напряжения гармонических составляющих: $U_5 = 57,067$ В, $U_7 = 56,484$ В, $U_{11} = 55,829$ В, $U_{13} = 55,963$ В.

Искажение кривой напряжения сети на зажимах электроприемников характеризуется коэффициентом несинусоидальности напряжения, %:

$$k_{nc} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_{ном}} \cdot 100, \quad (5)$$

где U_v и $U_{ном}$ – напряжение v -й гармоники и номинальное напряжение сети, В.

Активные сопротивления статора и ротора, Ом

Номер гармоники v							
5		7		11		13	
$R_{ст5}$	$R'_{рот5}$	$R_{ст7}$	$R'_{рот7}$	$R_{ст11}$	$R'_{рот11}$	$R_{ст13}$	$R'_{рот13}$
54,358	21,041	64,318	24,896	80,627	31,21	87,65	33,93

Коэффициент несинусоидальности напряжения на зажимах исследуемого электродвигателя:

$$k_{нс} = \frac{\sqrt{57,067^2 + 56,484^2 + 55,829^2 + 55,963^2}}{380} \cdot 100 = 29,68 \%$$

Согласно ГОСТ 13109-97 допустимое значение $k_{нс}$ ограничивается 8 %. Расчетное значение $k_{нс}$ значительно превышает нормируемую величину, поэтому ставится вопрос об ограничении гармонических составляющих токов с помощью фильтрокомпенсирующих цепей (ФКЦ).

Исходными параметрами ФКЦ являются относительная частота настройки v и суммарная реактивная мощность Q_r , генерируемая на частоте сети всеми ФКЦ.

Для каждой ФКЦ параметры Q_r и v однозначно определяют емкость и индуктивность фильтра:

$$C = \frac{Q_r}{\omega_l \cdot U_l^2 \cdot V}, \quad (6)$$

где U_l – действующее значение линейного напряжения сети, В; V – кратность повышения напряжения конденсаторной батареи на частоте сети.

$$V = \frac{v^2}{(v^2 - 1)}, \quad (7)$$

$$L = \frac{1}{C \cdot \omega_l^2 \cdot v^2}. \quad (8)$$

Рабочее напряжение конденсаторной батареи зависит от частоты настройки v , параметра V и относительной величины тока гармоники I_v^* :

$$U_k = U_n \cdot \sqrt{(k_1 \cdot V)^2 + \left(\frac{k_2 \cdot I_v^*}{v}\right)^2}. \quad (9)$$

На практике принимают $k_1 = 1,2 - 1,5$ и $k_2 = 1,5 - 2,0$.

Установленная мощность конденсаторной батареи равна

$$Q_y = 3 \cdot U_k^2 \cdot \omega_l \cdot C. \quad (10)$$

Графики зависимостей основных параметров ФКЦ тиристорного регулятора напряжения системы микроклимата МК – ВА – УЗ от частоты настройки представлены на рисунках 2.

Эффективность работы ФКЦ оценивается остаточным значением $k_{нс}$ в сети после установки ФКЦ

$$k_{нс} = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^{(p)2}}}{U_{ном}} \cdot 100, \quad (11)$$

где $U_v^{(p)}$ – напряжение высших гармоник в сети после установки ФКЦ, В.

$$U_v^{(p)} = \delta_v \cdot U_v, \quad (12)$$

где U_v – напряжение v -й гармоники в сети до установки ФКЦ, В; δ_v – относительное значение остаточного напряжения v -й гармоники после установки фильтрокомпенсирующих цепей.

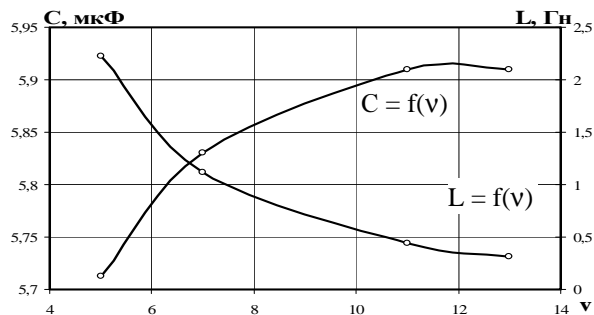


Рис. 2. Зависимость $C = f(v)$ и $L = f(v)$

Напряжения v -й гармоники после установки ФКЦ: $U_5 = 1,523$ В, $U_7 = 0,926$ В, $U_{11} = 0,177$ В, $U_{13} = 0,111$ В.

Коэффициент несинусоидальности напряжения на зажимах электродвигателя после установки ФКЦ:

$$k_{нс} = \frac{\sqrt{1,523^2 + 0,926^2 + 0,177^2 + 0,111^2}}{380} \cdot 100 = 0,472 \%$$

Результаты исследований ТРН, работающего в системе электропривода, показывают высокую эффективность этих устройств. Наравне с этим, ТРН генерируют в систему электроснабжения целую гамму высших гармоник. Установка ФКЦ до и после ТРН позволит решить ряд из них: уменьшение дополнительных потерь активной мощности в двигателе, а также снижение $k_{нс}$ до нормируемой величины.

Список используемой литературы

1. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в сетях электроснабжения промышленных предприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 160 с.
2. Крайчик Ю.С. Классификация гармоник напряжения и тока в цепях с вентильными преобразователями // Электричество. – 1990. – № 1. – С. 18 – 22.
3. Ольшванг М.В. Фильтрокомпенсирующие цепи статических компенсаторов // Электричество. – 1990. – № 1. – С. 23 – 28.
4. Регулируемые асинхронные электродвигатели в сельскохозяйственном производстве / Под ред. Д.Н. Быстрицкого. М.: Энергия, 1975. – 132 с.

Получено 04.07.2006



Катюха Анатолий Андреевич,
к.т.н, доцент, ТГАТА,
г. Мелитополь,
пр-т Б. Хмельницкого 18,
т. 42-31-59



Бородин Евгений Владимирович,
магистр, ассистент, ТГАТА,
г. Мелитополь,
пр-т Б.Хмельницкого18,
т.42-31-59