

АНАЛИЗ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ПРИ РАБОТЕ НЕСКОЛЬКИХ ТИРИСТОРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С УЧЕТОМ КОММУТАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ

Введение. Особую проблему для электроэнергетических систем (ЭЭС) автономных морских сооружений является наличие тиристорных электроприводов, мощности тиристорных преобразователей (ТП) которых соизмеримы с источниками электрической энергии. Это приводит к потреблению ими несинусоидального тока и напряжения. В результате, основная гармоника тока содержит реактивную составляющую, что приводит к искажению формы напряжения питающей сети и снижению коэффициента мощности.

Как правило, при выполнении сложных технологических операций на морских сооружениях (МС) (буровые суда, буровые платформы, дебаркадеры, плавкраны и т.д.) работают два и более ТП. То есть, было бы целесообразно усовершенствовать предложенные ранее методики анализа работы силовых полупроводниковых преобразователей (ПП) в ЭЭС МС, что позволит учитывать работу нескольких ТП с разными схемами включения в составе АЭЭС МС [1, 2].

Постановка задач исследования.

Целью статьи является усовершенствование существующих расчетных моделей автономных ЭЭС с ТП путем учета коммутационных колебаний в составе напряжения питающей сети, а также использование уточненных моделей для оценки и сравнительного анализа показателей несинусоидальности напряжения в системах шести и двенадцатифазным преобразователями.

Материалы исследования.

Несинусоидальность кривой напряжения сети характеризуется следующими показателями, допустимые значения которых регламентируются различными нормативными документами, например ГОСТ 13109-97:

– коэффициент искажения синусоидальности (коэффициент несинусоидальности):

$$K_U = \left(\sqrt{\sum_{v=2}^{v_{\max}} U_{S(v)}^2} / U_{S(1)} \right) \cdot 100\% ; \tag{1}$$

– коэффициент v -й гармоники:

$$K_{U(v)} = (U_{S(v)} / U_{S(1)}) \cdot 100\% , \tag{2}$$

где $U_{S(1)}$ и $U_{S(v)}$ – соответственно действующие значения основной и v -й гармоник напряжения,

v_{\max} – наивысший порядок учитываемых гармоник [2].

Упрощенные эквивалентные схемы рассматриваемых систем представлены на рис.1.

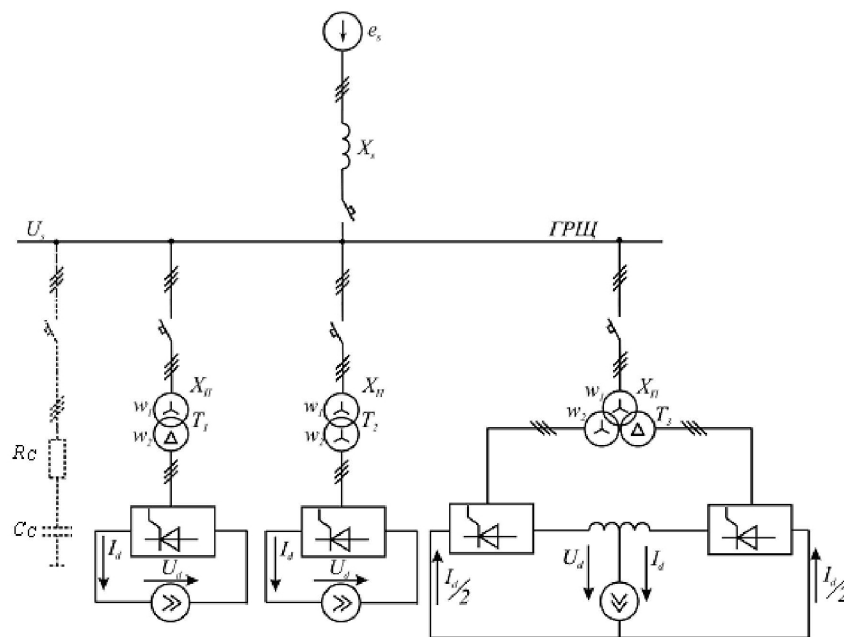


Рис. 1

Питающая сеть (синхронный генератор) представлена синусоидальной ЭДС основной частоты $e_S = E_m \sin \omega t$, подключенной к шинам через эквивалентное индуктивное сопротивление X_S , преобразователи – трансформатором T_1, \dots, T_3 и вентильными блоками, собственные паразитные параметры цепи фаза-корпус ЭЭС – емкостью C_C и активным сопротивлением R_C .

Преобразователи с фазностью $m = 6$ выполнены по одномостовой схеме, но с разными схемами включения трансформаторов T_1 и T_2 , а с фазностью $m = 12$ – по двухмостовой схеме с параллельным соединением мостов. X_{II} – сопротивление короткого замыкания трансформатора, приведенное к первичной обмотке. Коэффициент трансформации $K_T = w_1/w_2 = \sqrt{3}E_m/U_{2.m}$, где w_1 и w_2 – число витков первичной и вторичной обмотки, соединенных в звезду; $U_{2.m}$ – амплитуда вторичного линейного напряжения.

Кривую фазного напряжения u_S на шинах ГРЩ можно рассматривать как результат наложения на синусоиду e_S искажающих составляющих: идеализированных коммутационных импульсов Δu_{II} , а также коммутационных колебаний Δu_K и $\Delta u'_K$, возникающих соответственно при выключении и включении тиристоров [3] то есть

$$u_S = e_S + \Delta u_{II} + \Delta u_K + \Delta u'_K, \quad (5)$$

Колебательная составляющая напряжения сети, возникающая при выключении тиристора на i -м интервале непрерывности, имеет вид [4]

$$\Delta u_{Ki}(\theta) = \lambda \frac{U_{Ci}}{\cos \varepsilon} \cos[v_k(\theta - \psi_i) + \varepsilon + \psi_k] \cdot e^{-\delta(\theta - \psi_i)}, \quad (6)$$

где U_{Ci} – скачки напряжения, обуславливающие колебания; $\lambda = 1 \dots 4$ – коэффициент перенапряжения; v_k и δ – порядки частоты и коэффициента затухания колебаний (отношение соответствующих величин к частоте напряжения сети); $\varepsilon = \arctg(\delta/v_k)$; $\psi_k = \arccos[(\cos \varepsilon)/\lambda] - \varepsilon$ – угол, характеризующий изменение начальной фазы колебания в зависимости от степени перенапряжения; ψ_i – угол, определяющий начало i -го интервала.

Выводы.

1. Полученная расчетная модель позволяет учитывать коммутационные колебания, оказывающие существенное влияние как на гармоники сетевого напряжения в высокочастотной области, так и на интегральный показатель – коэффициент несинусоидальности напряжения.

2. Выражение для результирующего коэффициента несинусоидальности позволяет оценивать все факторы искажений напряжения в реальных ЭЭС с несколькими ТП при разных схемах включения.

3. Составляющая K_{UK} практически не зависит от выпрямленного тока и оказывает определяющее влияние на результирующий коэффициент несинусоидальности в режимах близких к холостому ходу. Данная составляющая прямо пропорциональна коэффициенту перенапряжения, углу включения и обратно пропорциональна коэффициенту затухания коммутационных колебаний.

4. Полученные аналитические выражения позволяют определять коэффициент несинусоидальности с учетом высокочастотных колебаний при различных схемах включения ТП и числа их работы в составе ЭЭС МС.

5.

Литература.

1. Запальский В.Н. Спектральный анализ работы силовых полупроводниковых преобразователей в автономных электроэнергетических системах. Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета (технические науки). Тематический выпуск «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика»/ Днепродзержинск: ДГТУ, 2007. – С. 230 – 231;
2. Жук А.К., Запальский В.Н., Трибулькевич С.Л. Несинусоидальность напряжения в ЭЭС морских сооружений с полупроводниковыми преобразователями. Материалы конференции "Силовая электроника и энергоэффективность" С'ЭЭ'200 – Электротехника, 2006. – С 136 – 141;
3. Жук А.К. Анализ влияния тиристорного преобразователя на питающую сеть с учетом коммутационных колебаний // Электромашинобудування та електрообладнання, 2003, №60, С. 39 – 47.;
4. Жук А.К. Анализ влияния тиристорного преобразователя на питающую сеть с учетом коммутационных колебаний // Электромашинобудування та електрообладнання, 2003, №60, С. 39 – 47.;