

УДК 62.529

Аксенов В. П., Шеремет А. И.

КОМПЕНСАЦИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ

Для обесточенного ненагруженного двигателя, ротор которого приводится в движение внешним моментом, существуют три базовых гармоники момента, которые можно пронаблюдать [1]. Это гармоники полюсов, зубцов и впадин ротора. Эти частоты обусловлены механической конструкцией двигателя. Также существуют и другие гармоники, которые обусловлены механикой машины, такой как муфты и прочее. Эти гармоники могут быть распознаны на основе графиков крутящего момента с использованием алгоритма быстрого преобразования Фурье (БПФ, FFT) [2]. Когда график момента с БПФ записывается на скорости 60 об/мин, легко распознать вышеуказанные частоты гармоник. В целом, влияние гармонических колебаний крутящего момента проявляется на неравномерности скорости вращения выходного вала [3]. Это негативное влияние может отрицательно сказываться на работе многих механизмов, в частности при синхронной работе двух и более двигателей на одну нагрузку без соединения их общим валом.

Целью работы является разработка алгоритма, который бы смог противодействовать колебаниям момента из-за влияния на него вышеуказанных гармоник, а также с целью стабилизации скорости вращения вала асинхронного двигателя (АД). Чтобы избежать влияния этих гармонических колебаний, необходимо изменение механической конструкции двигателя или машины в целом.

Современные электропривода (ЭП) представляют собой комплексные системы, которые являются симбиозом силовой электротехники и блока управления [4]. Блоки управления по своим возможностям не уступают современным программируемым логическим контроллерам. Время цикла таких блоков управления может достигать очень малых значений (до 4 мс). Кроме непосредственного управления работой ЭП, блоки управления могут выполнять дополнительные программы, которые могут влиять на работу ЭП.

Ярким представителем данного семейства приводов является привод фирмы Siemens серии S120 с блоком управления для одноосевого управления. Данный блок управления позволяет выполнять программы сторонних разработчиков, написанных на языке CFC [5]. Структура такого привода представлена на рис. 1.

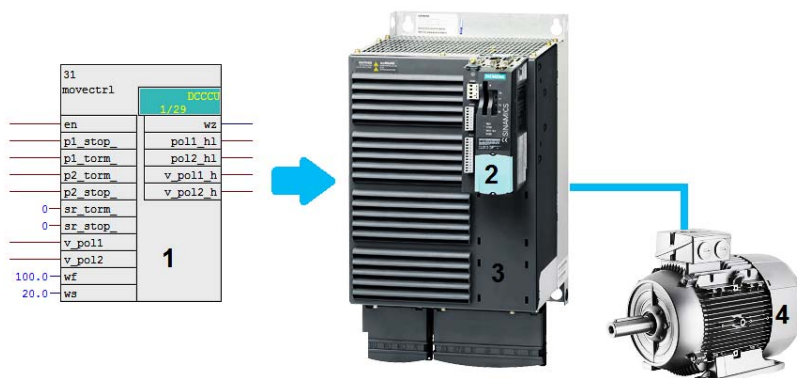


Рис. 1. Структура электропривода S120 с блоком управления:
1 – функция CFC; 2 – блок управления; 3 – силовой инвертор; 4 – АД

В качестве объекта исследования был использован стенд фирмы Siemens, в состав которого входит привод S120 с блоком управления CU310DP, силового блока PM340/230V, двигателя 1LA7060 с энкодером и серводвигателя 1FK7022 с энкодером (рис. 2). Этот стенд

в сущности повторяет структуру указанную на рис. 1. При помощи программного пакета STARTER можно снять интересующие характеристики. Настройка режима снятия этих характеристик показана на рис. 3. Осциллограммы угла поворота и скорости вращения вала серводвигателя показаны на рис. 4. Цикл снятия осциллограмм – 1 мс, время измерения – 4 с.



Рис. 2. Стенд фирмы Siemens (6ZB2480-0AD00)

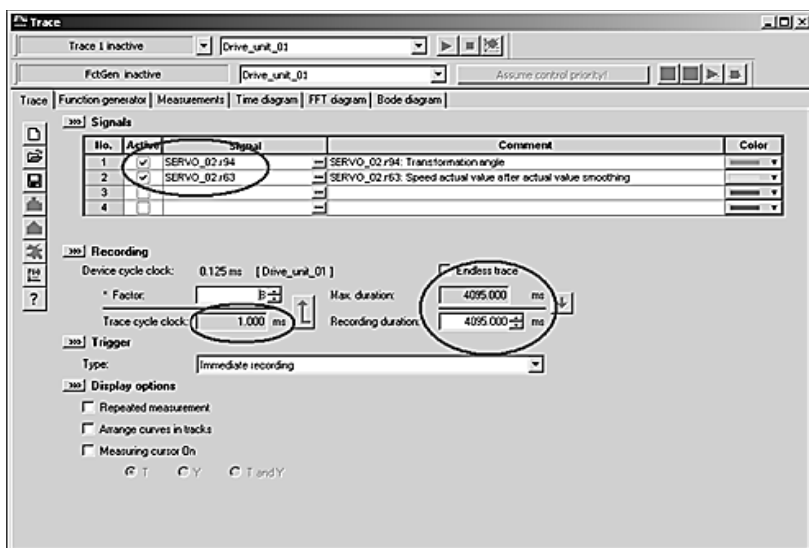


Рис. 3. Окно настройки параметров осциллограмм

Из осциллограмм видно, что колебания скорости происходят в диапазоне 48–70 об/мин. При помощи встроенной функции FFT исследуем осциллограмму скорости (рис. 5). Ось абсцисс будет иметь размерность в Гц (частота вращения ротора), т. к. в нашем случае полный оборот вала происходит за 3 Гц.

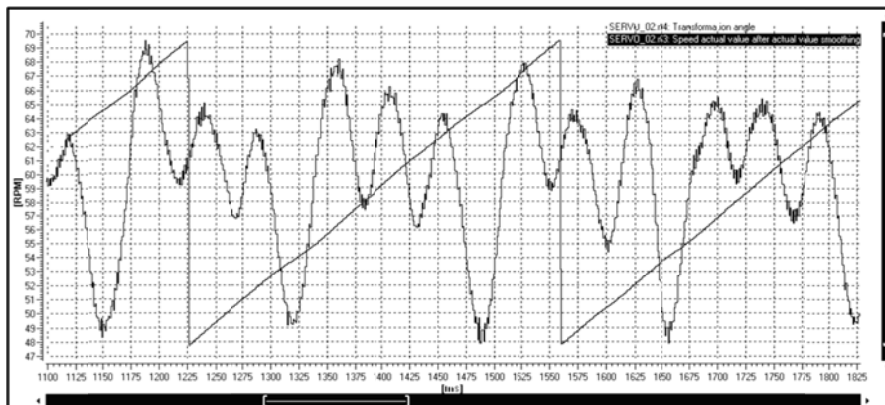


Рис. 4. Осциллограммы скорости и угла поворота ротора серводвигателя

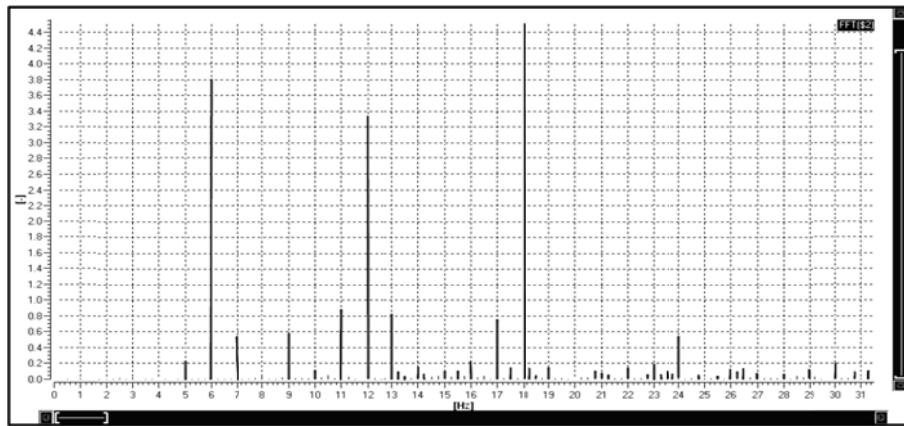


Рис. 5. Осциллограмма скорости, обработанная алгоритмом FFT

Из осциллограммы видно, что основные гармоники имеют частоты 6 Гц, 12 Гц, 18 Гц. Структура программного компенсатора колебаний будет иметь вид, как показано на рис. 6.

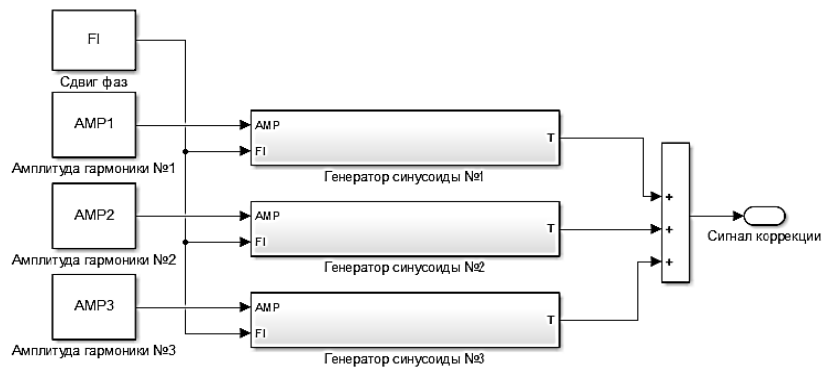


Рис. 6. Структура программного компенсатора колебаний

Значение периода для каждого синусоидального генератора определяются путем деления значения частоты каждой из гармоник на частоту одного оборота вала двигателя: 2, 4 и 6 соответственно.

Для того чтобы определить угол сдвига фаз для этих синусоидальных генераторов, необходимо снять осциллограмму момента и угла поворота. Значение угла сдвига фаз будет численно равно углу в месте пересечения графиков момента и угла поворота (рис. 7). В нашем случае около 140 эл. град.

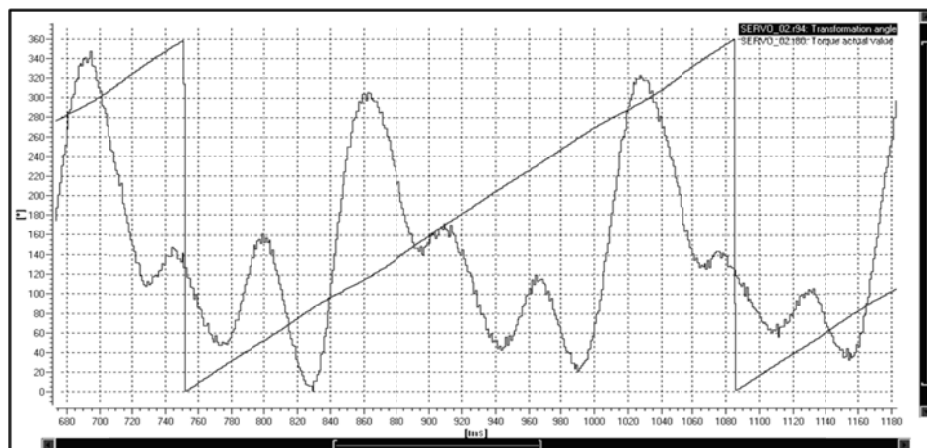


Рис. 7. Определение угла сдвига фаз

Из этой же осциллограммы можно определить значения амплитуд каждой гармоники. В нашем случае это 340 мНм, 160 мНм, 100 мНм.

На рис. 8 показан сигнал предупреждения для коррекции момента.

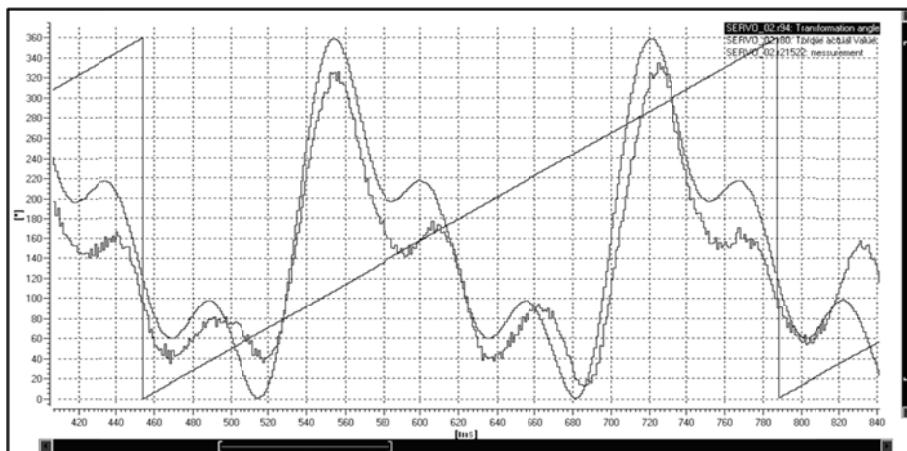


Рис. 8. Осциллограмма момента, угла поворота и сигнала коррекции момента

На рис. 9 показаны осциллограммы момента с и без коррекции.

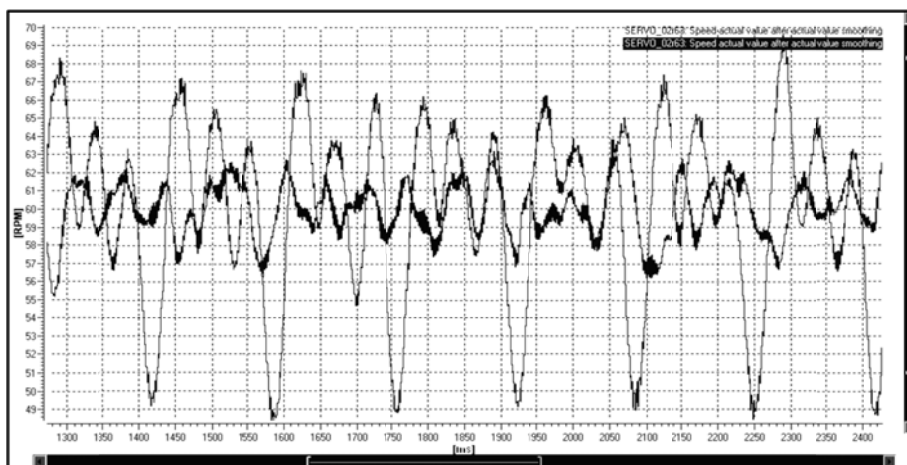


Рис. 9. Осциллограмма скорости с и без коррекции

Из осциллограммы видно, что скорость без коррекции колеблется в диапазоне 46–70 об/мин. С коррекцией колебания лежат в пределах 55–65 об/мин. Снижение колебательности составляет 41,7 %.

На рис. 10 показаны амплитуды трех основных гармоник с коррекцией. На рис. 11 показана осциллограмма момента двигателя с и без коррекции. Из рис. 10 видно, что три основные гармоники были компенсированы. Из рис. 11 видно, что без коррекции колебания момента лежат в диапазоне 5,7–41 мНм. С коррекцией эти значения лежат в диапазоне 12–24,5 мНм. Снижение колебательности составляет 35 %.

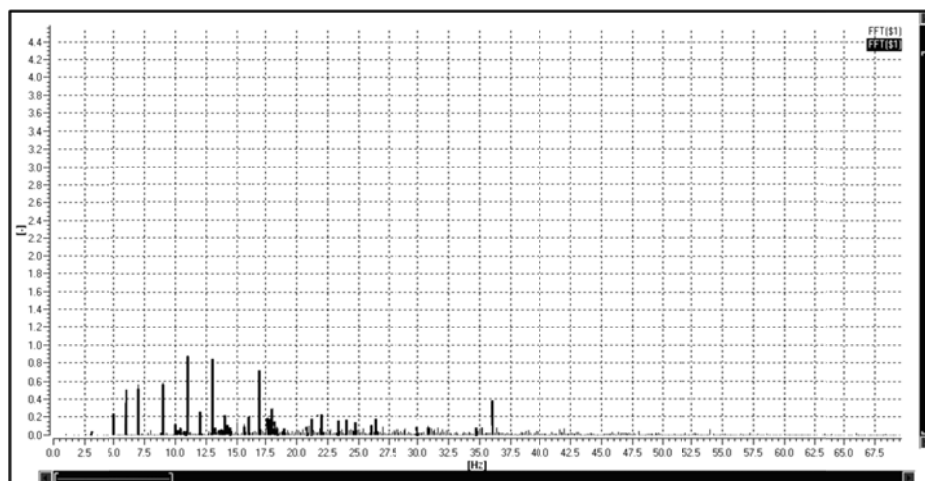


Рис. 10. Осциллограмма скорости, обработанная алгоритмом FFT с коррекцией

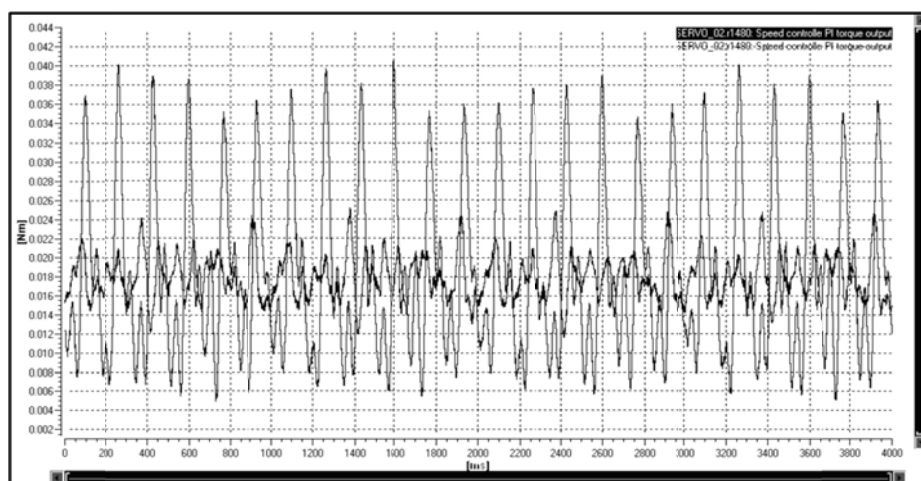


Рис. 11. Осциллограмма момента двигателя с и без коррекции

ВЫВОДЫ

Программный компенсатор колебаний момента приводит к снижению колебательности момента на 35 %, скорости на 41,7 %. Таким образом, удалось снизить колебательность практически вдвое, не прибегая к механическим изменениям машины. Ограничением данного регулятора является возможность компенсировать гармоники с периодом более 20 мс. Однако это может быть устранено путем использования более быстродействующего модуля управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шефнер К. И. Асинхронные машины: учебное пособие / К. И. Шефнер – Москва. – 2008. – С. 101–117.
2. Теория и практика цифровой обработки сигналов. Алгоритмы быстрого преобразования Фурье FFT (fast Fourier transform). Принцип построения [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.dsplib.ru/content/fft/fft.html>.
3. Сервомоторы. Разработка и производство сервоприводов, бесколлекторных и вентильных двигателей, двигатель (трастер) для телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА, ROV) [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://servomotors.ru/documentation/electromotor/book47/book47p28.html>.
4. SINAMICS S120 Chassis Format Modules: Catalog D21.3 // Siemens AG. – 2012. – P. 41–150.
5. SINAMICS/SIMOTION DCC Editor: Manual // Siemens AG. – 2014. – P. 137–203.