

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СИГНАЛОВ

УДК 621.391

КЛЮЧЕВОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА

В. Л. Муравченко, старший научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ, д.т.н.; alexibal@mail.ru
А. Н. Балахонов, научный сотрудник НИЦ ТТ ВМФ; alexibal@mail.ru

Рассмотрена работа ключевого формирователя гармонических сигналов, имитирующего работу усилителя, использующего усиление в классе «А». Показано существенное снижение уровней гармоник четных порядков по сравнению с формирователями, работающими в двухтактном режиме усиления.

Ключевые слова: ключевой формирователь, высшие гармоники, усилитель сигналов.

Введение. В [1, 2, 3] описан способ ключевого формирования гармонического сигнала, при котором суммой прямоугольных импульсов раздельно воспроизводятся положительный и отрицательный полупериоды гармонического колебания. Сформированные таким образом сигналы складываются с помощью двухтактных схем. В этом случае уровень гармоник четных порядков определяется возможностями применяемых двухтактных схем. Практика показывает, что даже при использовании фильтров подавления гармоник в двухтактных усилителях, снижения уровня вторых гармоник до — 60 дБ относительно уровня 1-й гармоники представляет собой сложную инженерную задачу.

Ниже теоретически проанализирован уровень высших гармоник при условии ключевого формирования гармонического сигнала, имитирующего усиление в классе «А».

Работа ключевого формирователя гармонических сигналов. В рассматриваемом случае на вход формирователя подается сигнал вида:

$$i(t) = I_m(1 + \cos \omega t), \tag{1}$$

где I_m — амплитуда гармонического колебания; ω — круговая частота.

В формирователе каждый период T этого гармонического сигнала преобразуется в последовательность N импульсов прямоугольной формы одинаковой амплитуды (рис. 1). Число разбиений N определяется требованиями

к его линейности усиления [3]. Таким образом, амплитуда каждого импульса равна $2I_m/N$. Максимальное значение тока $i(t) = I_m(1 + \cos \omega t)$ составляет $2I_m$.

Суммарная (от всех N импульсов) амплитуда 1-й гармоники I_1 вычисляется с помощью разложения Фурье [4]:

$$I_1 = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N \int_{-0,5t_n}^{0,5t_n} \frac{2I_m}{N} \cos(2\pi \frac{t}{T}) dt, \tag{2}$$

где t_n — длительность n -го импульса.

Длительность импульса определяется соотношением:

$$t_n = \frac{T}{\pi} \arccos \left(\frac{2n - N}{N} \right). \tag{3}$$

Амплитуды высших гармоник определяются соотношениями:

$$I_2 = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N \int_{-0,5t_n}^{0,5t_n} \frac{2I_m}{N} \cos(2\pi \frac{t}{T/2}) dt; \tag{4}$$

$$I_3 = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N \int_{-0,5t_n}^{0,5t_n} \frac{2I_m}{N} \cos(2\pi \frac{t}{T/3}) dt; \tag{5}$$

...

$$I_N = \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N \int_{-0,5t_n}^{0,5t_n} \frac{2I_m}{N} \cos(2\pi \frac{t}{T/N}) dt. \tag{6}$$

На рис. 2 приведен график зависимости степени подавления $G(k)$, дБ, гармоник различных порядков k (от 1-й до 21-й) при разбиении амплитуды сигнала на $N = 200$ суммируемых прямоугольных импульсов. Величина t_n норми-

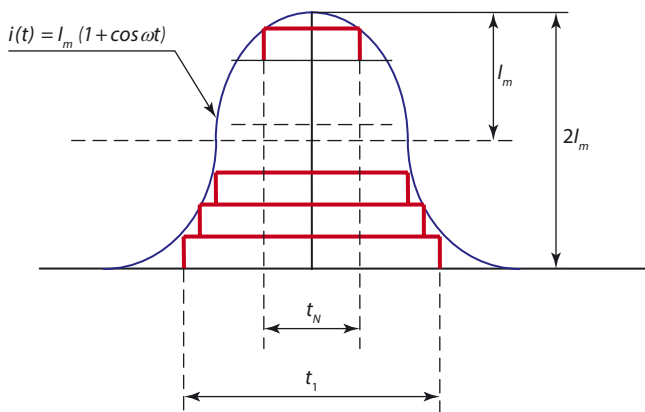


Рис. 1

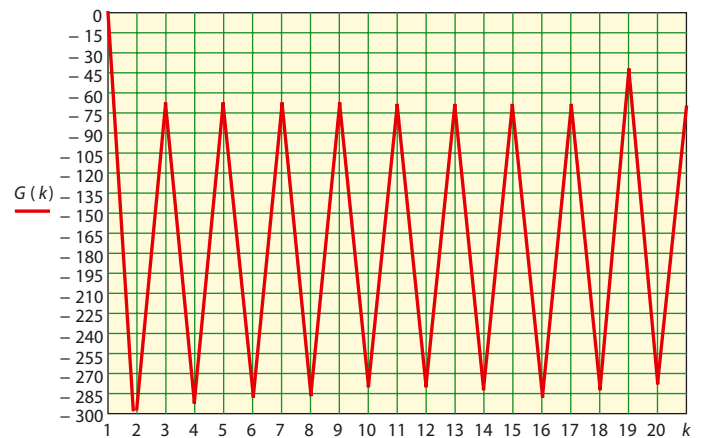


Рис. 2

рована к периоду гармонического колебания T , принятого равным 1. Значение I_m также составляет 1.

Величина $G(k)$, дБ, рассчитывалась по формуле:

$$G(k) = 20 \log \left| \frac{2}{T} \sum_{n=1}^N \int_{-(0,5t_n)}^{(0,5t_n)} \left(\frac{2I_m}{N} \cos \left(2\pi \frac{t}{T/k} \right) \right) dt \right|. \quad (7)$$

Из графика, представленного на рис. 2, видно, что уровень четных гармоник подавлен не менее чем на 200дБ относительно уровня подавления гармоник нечетных порядков.

Заключение. Ключевое формирование гармонического сигнала, имитирующего усиление в классе «А», обеспечивает существенное снижение уровней излучения высших гармоник четных порядков при сохранении требуемой степени подавления гармоник нечетных порядков. При этом

КПД усилителя будет определяться возможностями ключевых усилителей, у которых этот параметр существенно лучше, чем у усилителей, работающих в режиме усиления класса «А».

ЛИТЕРАТУРА

1. **Тонкаль В.Е.** Синтез автономных инверторов модуляционного типа.— Киев.: Наукова думка, 1979.
2. **Дмитриков В.Ф., Петяшин Н.Б., Сиверс М.А.** Высокоэффективные формирователи гармонических колебаний.— М.: Радио и связь, 1988.
3. **Муравченко В.Л.** Оценка мощности высших гармоник при ключевом формировании гармонических колебаний // Радиотехника.— 2007.— № 6.
4. **Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике.— М.: Наука, 1964.

Получено после доработки 14.02.14

ПАМЯТИ ЮРИЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА ТОЛМАЧЕВА

6 апреля на 91-м году жизни скончался генерал-лейтенант в отставке, лауреат Государственных премий СССР, заслуженный работник связи, академик Международной академии связи, почетный академик Академии криптографии РФ, почетный радист СССР, почетный сотрудник госбезопасности, почетный сотрудник ФАПСИ **Юрий Александрович Толмачев**.

Ю.А. Толмачев родился 1 мая 1923 г. в Краснодаре в семье интеллигентов: отец был врачом, мать — преподавателем французского языка. В 12 лет мальчик пришел в радиокружок при городском доме пионеров, где своими руками собрал ламповый приемник. В 1940 г. поступил в Московский энергетический институт. За обучение в институте тогда приходилось платить, и Юрий устроился работать на предприятие, выпускавшее авиационное электрооборудование: ночью занимался монтажом радиоаппаратуры, днем учился.

В годы войны Ю. Толмачев перевели на военный факультет Московского института инженеров связи, но доучивался он фактически факультативно. В дни боев под Сталинградом 19-летнего студента назначили командиром взвода дальней связи, перед которым была поставлена задача обеспечить обходной маршрут для связи войск с кавказской группировкой Советской Армии. Затем был Брянский фронт, Карельский, Военная академия связи в Ленинграде, диплом об окончании которой он получил в июне 1945 г.

С сентября 1945 г. Ю.А. Толмачев работал на военных предприятиях связи, в 1948—1959 гг. — в центральном аппарате начальника Войск связи Минобороны СССР. При его непосредственном участии была подготовлена концепция проектирования и создания аппаратуры гарантированной защиты информации на различных уровнях управления.

В 60-е годы Ю.А. Толмачев последовательно руководит военным представительством Войск связи в промышленности, разрабатывает специальную аппаратуру автоматической защиты информации, концеп-



туальные документы по перспективному системному развитию техники и средств военной связи, участвует в создании семейства автомобильных однополосных радиостанций «Полоса», «Полоса-Н», «Зубр», мощных 24-канальных радиорелейных и тропосферных станций, до сих пор входящих в систему военной связи.

В 1970-е годы Ю.А. Толмачев как сотрудник Управления правительственной связи КГБ при Совете министров СССР принимает участие в разработке систем фиксированной и спутниковой подвижной радиосвязи, аппаратуры гарантированной защиты информации, концептуальной системы правительственной связи, включающей 12 взаимосвязанных подсистем.

После увольнения в запас в 1986 г. Ю.А. Толмачев пришел на работу в Министерство связи СССР на должность заместителя председателя Межведомственного координационного совета (МВКС). С 1992 по 1997 г. он занимает должность заместителя председателя Государственной комиссии электросвязи при Министерстве связи

РФ (ГКЭС, бывшая МВКС). Работа в международных организациях связи (МСЭ, ЕТСИ и др.) требовала особой кропотливости, поскольку связана с подготовкой основополагающих документов, затрагивающих организацию международной электросвязи с учетом перехода к глобальному информационному обществу. В международных организациях связи Юрий Александрович жестко отстаивал интересы России. При его участии был разработан, в частности, Регламент электросвязи МСЭ.

Ю.А. Толмачев участвовал в разработке первого закона о связи Российской Федерации в 1995 г., концепции развития и совершенствования национальной инфраструктуры телекоммуникаций с учетом глобализации и др. Он награжден орденами Октябрьской Революции, Отечественной войны I степени, Трудового Красного Знамени, Красной Звезды, 30 медалями и шестью орденами иностранных государств, был автором более 40 публикаций по научно-технической тематике.

Юрий Александрович до последнего времени работал в Международной академии связи, НП «Телеком Форум», принимал активное участие в дискуссиях в ходе важнейших отраслевых конференций.

Многие годы Ю.А. Толмачев входил в состав редакционной коллегии нашего журнала, приглашенный для работы в ней главным редактором В.А. Шамшиным. Прекрасно ориентируясь в проблемах развития отрасли, Юрий Александрович оказывал неоценимую помощь журналу, способствуя продвижению отечественной научной мысли в целях построения в России информационного общества.

Человек энциклопедических знаний, огромной трудоспособности, высококомпетентный специалист, принципиально отстаивающий интересы отрасли, доброжелательный и жизнерадостный — таким Юрий Александрович навсегда останется в нашей памяти.

*Редколлегия и редакция журнала
«Электросвязь»*