

ТАКТОВЫЕ ГЕНЕРАТОРЫ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМ СПЕКТРОМ

ВИКТОР КОЧЕМАСОВ, к.т.н., ЕЛЕНА ХАСЬЯНОВА, м.н.с., ООО «Радиокомп»

В статье рассматриваются способы снижения уровня электромагнитных помех и рассказывается о преимуществах использования для этой цели тактовых генераторов с распределенным спектром.

Многие цифровые системы: ПК, коммуникаторы, принтеры, сканнеры, цифровые источники питания могут излучать электромагнитные волны, которые повышают их радиозаметность и создают помехи для работы близлежащих устройств. Поэтому к любому электронному устройству предъявляются требования по электромагнитной совместимости (ЭМС — **electromagnetic compatibility** — EMC). Одним из основных источников электромагнитных помех (ЭМП — **electromagnetic interference** — EMI) являются генераторы тактовых импульсов, обеспечивающие синхронную работу этих изделий, поскольку частота тактового генератора, как правило, превышает остальные рабочие частоты. Помимо основной частоты в спектре этих импульсов содержатся высокочастотные гармоники, которые также являются источниками ЭМП. Например, в спектре периодических прямоугольных импульсов содержится бесконечное число нечетных гармоник основной частоты.

Существует несколько способов уменьшения уровня ЭМП: фильтрация, изменение времени нарастания/спада тактовых импульсов, экранирование, использование генераторов с расширением спектра. Фильтрация позволяет ослабить гармоники только высшего порядка. Увеличение времени нарастания/спада существенно снижает уровень ЭМП на гармониках тактовой частоты, однако не влияет на ЭМП основной частоты. Наиболее эффективным способом снижения ЭМП является экранирование всего изделия или источника излучений. Для носимых устройств такой подход нежелателен из-за увеличения массогабаритных показателей и стоимости производства. В связи с этим достаточно широко распространение получили генераторы с технологией расширения спектра (SSCG — **spread spectrum clock generator**), обеспечивающие снижение помех не только на основной частоте тактового генератора, но и на ее гармониках для всех сигналов, синхронных с тактовым, независимо от местоположения.

В классических тактовых генераторах спектральная плотность мощности

сосредоточена вблизи несущей частоты и ее гармоник, что может стать причиной нарушения норм ЭМС и получения несанкционированного доступа к обрабатываемой информации. В генераторах с расширением спектра используется частотная модуляция, вследствие чего уровень ЭМП существенно снижается (см. рис. 1).

Использование такой технологии позволяет уменьшить пиковое значение спектральной плотности мощности. Достижимый эффект от размытия спектра будет зависеть от вида модулирующего колебания. Обычно применяют синусоидальное, пилообразное или кубическое (известное также под названиями Lexmark или Hershey-Kiss™) модулирующие напряжения (см. рис. 2). Форма последнего считается наиболее эффективной, поскольку обеспечивает снижение уровня ЭМП на 1,5 дБ по сравнению с применением пилообразной формы напряжения. Однако реализация такой формы модулирующего напряжения оказывается существенно сложнее. В связи с этим чаще всего применяется

пилообразная форма модулирующего напряжения.

Результирующее снижение уровня ЭМП при использовании тактовых генераторов с расширением спектра находится в диапазоне 7...20 дБ (см. табл. 1) и зависит не только от вида модуляции и типа корпусирования, но и от параметров модуляции:

- глубина модуляции (modulating rate) — время, за которое тактовая частота изменится на Δf и вернется в исходное состояние;
 - коэффициент расширения (spreading rate — δ) — отношение девиации частоты $\Delta f = f_0 - f_c$ к несущей частоте сигнала без модуляции (f_c);
 - тип расширения (spreading style).
- На рисунке 3 представлены возможные виды расширения спектра:

- симметрично относительно центральной частоты (Center spreading, рис. 3а);
- с понижением относительно центральной частоты (Down-spreading, рис. 3б). Используется при невозможности повышения тактовой частоты ($f_0 > f_c$);

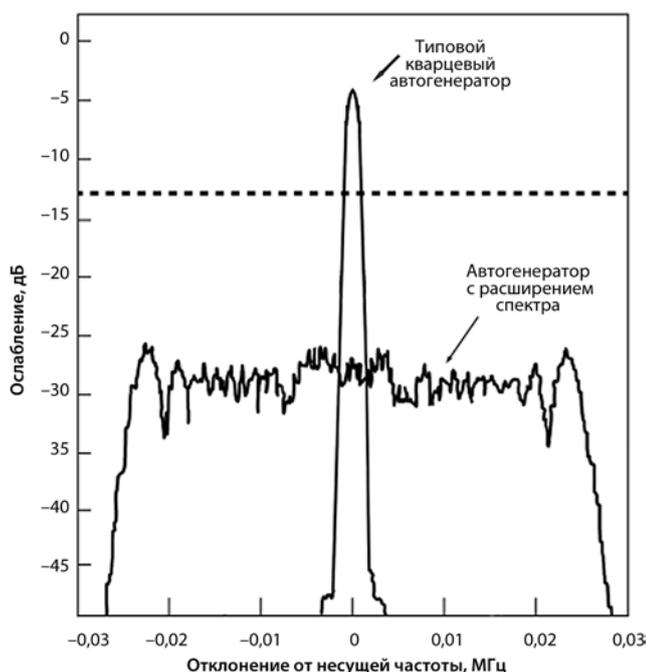


Рис. 1. Сравнение уровня ЭМП типового кварцевого автогенератора и генератора с расширенным спектром

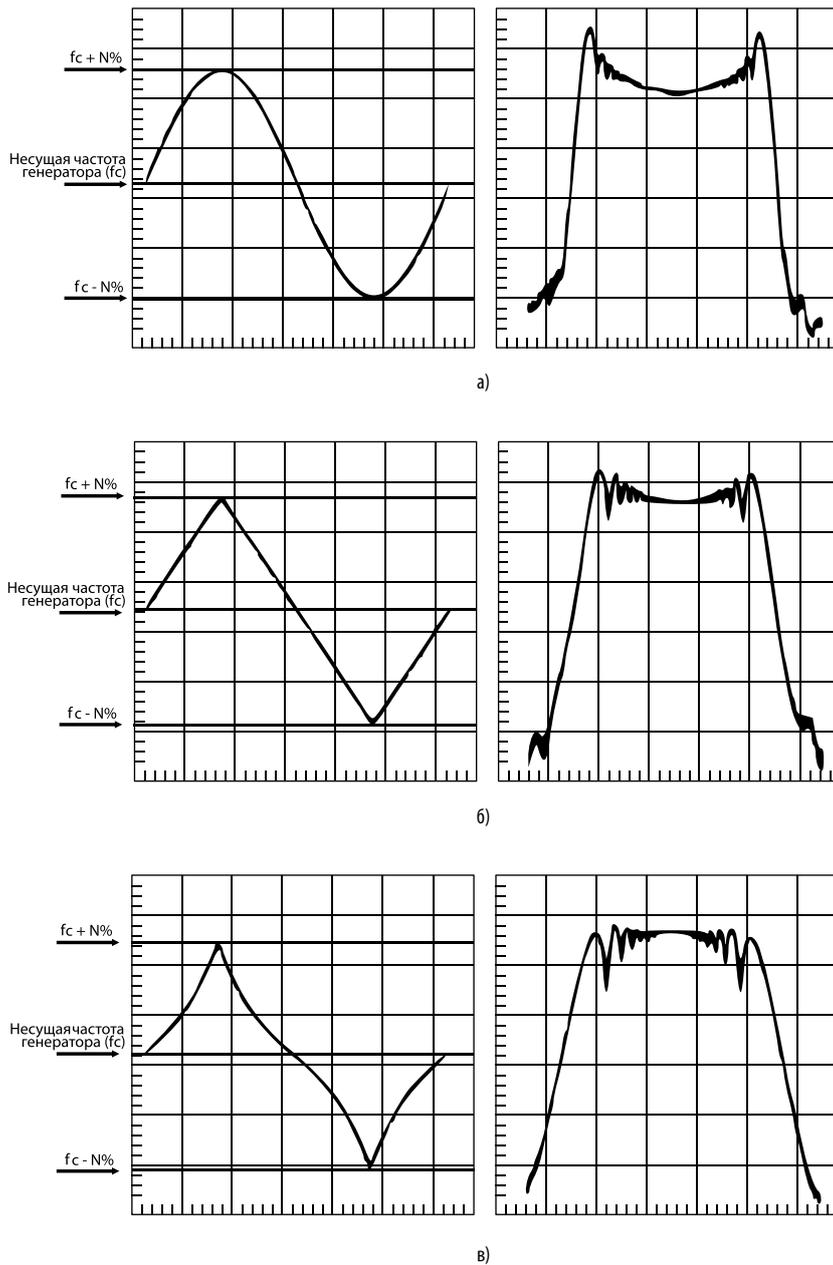


Рис. 2. Схематичное изображение спектральной плотности мощности в зависимости от формы модулирующего напряжения: а) синусоидальная, б) пилообразная, в) кубическая.

- с повышением относительно центральной частоты (UP-spreading, рис. 3в);
- ассиметричное расширение (Asymmetric spreading or down-center spreading, рис. 3г). Применяется только компанией Mersuqy.

Ассортимент производимых генераторов с расширением спектра разнообразен и позволяет подобрать как экономичные решения для потребительской электроники, так и генераторы с повышенной долговременной стабильностью частоты для применения в телекоммуникационных системах и других высокопроизводительных устройствах.

Отметим особенности некоторых генераторов с расширением спектра. Тактовые генераторы с расширением спектра компании SiTime Corp.

выполнены на МЭМС-резонаторах (MEMS — Microelectrochemical system-based resonators) для увеличения ударопрочности и виброустойчивости по сравнению с кварцевыми резонаторами. У модели DS1086 SSCG от Dallas Semiconductor (Maxim Integrated) в силу конструктивных особенностей при расширении спектра 0% фактическое значение этого параметра варьируется в диапазоне 0,5...1%.

Тактовые генераторы с применением технологии расширения спектра позволяют снизить помехи от

РАДИОКОМП www.radiocomp.ru

| | |
|--|--|
|  Широкий спектр кварцевых генераторов |  Высокостабильные ОСХО для частот 70...120 МГц |
|  Малошумящие кварцевые генераторы |  Высокоскоростные источники тактовых сигналов |

Таблица 1. Модели SSCG

| Модель | $f_{\text{выст}}$ МГц | | $(\Delta f/f)^1$, ppm | Расширение спектра, % center/down ² | Снижение ЭМП ³ , дБ | $U_{\text{нмг}}$ | Траб., °С |
|--|-----------------------|-------|------------------------|---|--------------------------------|-------------------|-----------------|
| | Мин. | Макс. | | | | | |
| Abracon Corp. | | | | | | | |
| ASSM | 4 | 128 | $\pm 25 \dots \pm 50$ | $\pm 0,3 \dots \pm 1,4/-1,4 \dots -3$ | ≥ -20 | $5,0 \pm 5\%$ | $-40 \dots +85$ |
| ASSML | | | | | | $3,3 \pm 5\%$ | |
| ASSV | 5 | 160 | ± 100 | $\pm 0,5; \pm 1,5/-1 \dots -3$ | $-7 \dots -15$ | $3,3 \pm 5\%$ | $0 \dots +70$ |
| ASSFL | 6 | 160 | ± 100 | $\pm 0,5; \pm 1,5/-1; -3$ | $-7 \dots -15$ | $3,3 \pm 0,5 \%$ | |
| ASSFLP | 8 | 160 | ± 50 | $\pm 0,125 \dots 2,0/-0,25 \dots -4,0$ | $-7 \dots -15$ | $2,97 \dots 3,63$ | $-40 \dots +85$ |
| ASSL1 | 8 | 128 | ± 100 | $\pm 0,3 \dots \pm 1,4/-1,4 \dots -3$ | ≥ -20 | $5,0 \pm 5\%$ | |
| ASSV1 | | | | | | $3,3 \pm 5\%$ | |
| ASSVJ | 13 | 200 | ± 100 | $\pm 0,25 \dots \pm 1,875/-0,5 \dots -3,75$ | ≥ -20 | $3,3 \pm 5\%$ | $0 \dots +70$ |
| ASSVP | 10 | 160 | ± 50 | $\pm 0,125 \dots \pm 2,0/-0,25 \dots -4,0$ | $-7 \dots -12$ | | $-40 \dots +85$ |
| DALLAS Semiconductors | | | | | | | |
| DS1086L | 0,13 | 66 | ± 5000 | $-0,5 \dots -8$ | – | $2,7 \dots 3,6$ | $-40 \dots +85$ |
| DS1087L | 0,13 | 66 | ± 7500 | $\pm 2; \pm 4$ | – | | |
| DS1089L | 0,13 | 66,6 | ± 7500 | $\pm 1 \dots \pm 8$ | – | | |
| DS1086 | 0,26 | 133 | ± 12500 | $-2; -4$ | – | $4,75 \dots 5,25$ | $0 \dots +70$ |
| Ecliptek Corp. | | | | | | | |
| EPSA12 | 2 | 166 | ± 50 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | $2,5 \pm 5\%$ | $-40 \dots +85$ |
| EPSA22 | 2 | 166 | ± 50 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | | |
| EPSA13 | 2 | 200 | ± 50 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | $3,3 \pm 10 \%$ | |
| EPSA23 | 2 | 200 | ± 50 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | | |
| Euroquartz, Ltd. | | | | | | | |
| 18EQHM32 | 12,5 | 42,0 | $\pm 25 \dots \pm 100$ | $\pm 0,25 \dots \pm 1/-0,5 \dots -2$ | $-12 \dots -18$ | $1,8 \pm 3,3 \%$ | $-40 \dots +85$ |
| 3EQHM57N | 8 | 128 | $\pm 25 \dots \pm 100$ | $\pm 1,4 \dots \pm 0,4/-1,7 \dots -3,0$ | $-8 \dots -15$ | $3,3 \pm 10\%$ | |
| 18EQHM572 | 12,5 | 42,0 | $\pm 25 \dots \pm 100$ | $\pm 0,25 \dots \pm 1/-0,5 \dots -1$ | $-12 \dots -18$ | $2,5 \pm 5\%$ | |
| 18EQHM53 | 12,5 | 42,0 | $\pm 25 \dots \pm 100$ | $\pm 0,25 \dots \pm 1/-0,5 \dots -2$ | $-12 \dots -18$ | | |
| Fox Electronics | | | | | | | |
| FSS52 | 13 | 160 | ± 100 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | $2,5 \pm 5\%$ | $-40 \dots +85$ |
| FSS53 | 13 | 160 | ± 100 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | $3,3 \pm 10\%$ | |
| FSS72 | 13 | 160 | ± 100 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | $2,5 \pm 5\%$ | |
| FSS73 | 13 | 160 | ± 100 | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | $3,3 \pm 10\%$ | |
| Mercury Electronic Ind. Co., Ltd. | | | | | | | |
| 3HM57-R | 3.5 | 165 | – | $\pm 0,25 \dots \pm 1,5/-0,5 \dots -3,0$ | –15 | $3,3 \pm 5\%$ | $-40 \dots +85$ |
| 3HM53-R | 6.0 | 160 | – | $\pm 0,25 \dots \pm 1,5/-0,5 \dots -3,0$ | | | |
| 3HM57-Y | 8.0 | 165 | – | $\pm 0,5 \dots \pm 1,5/-1,0; 3,0$ | | | |
| 3HM53-Y | 10.0 | 160 | – | $\pm 0,55 \dots \pm 1,5/-1,0 \dots -3,0$ | | | |
| 3HM57-P | 13.0 | 220 | – | $\pm 0,25 \dots \pm 1,875/-0,5 \dots -3,75$ | –19 | | |
| Seico Epson | | | | | | | |
| SG-9001 CA | 10 | 166 | – | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | $3,3 \pm 9 \%$ | $-20 \dots +70$ |
| SG-9001 LB | 10 | 135 | – | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | | |
| SG-9001 JC | 10 | 166 | – | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | – | | |
| SiTime Corp | | | | | | | |
| SiT9003 | 1 | 110 | $\pm 50, \pm 100$ | $\pm 0,25; \pm 0,50/-0,5; 1$ | ≥ -12 | $1,8 \dots 3,3\%$ | $-40 \dots +85$ |
| SiT9001 | 1 | 200 | $\pm 50, \pm 100$ | $\pm 0,25 \dots \pm 1/-0,5 \dots -2$ | | | |
| SiT9002 | 1 | 220 | $\pm 25, \pm 50$ | $\pm 0,25 \dots \pm 2,0/-0,5 \dots -4,0$ | | | |

¹ $(\Delta f/f)$ — стабильность частоты, частей на миллион;² center/down — расширение спектра симметрично/с понижением относительно центральной частоты;³ указаны значения для первой гармоники

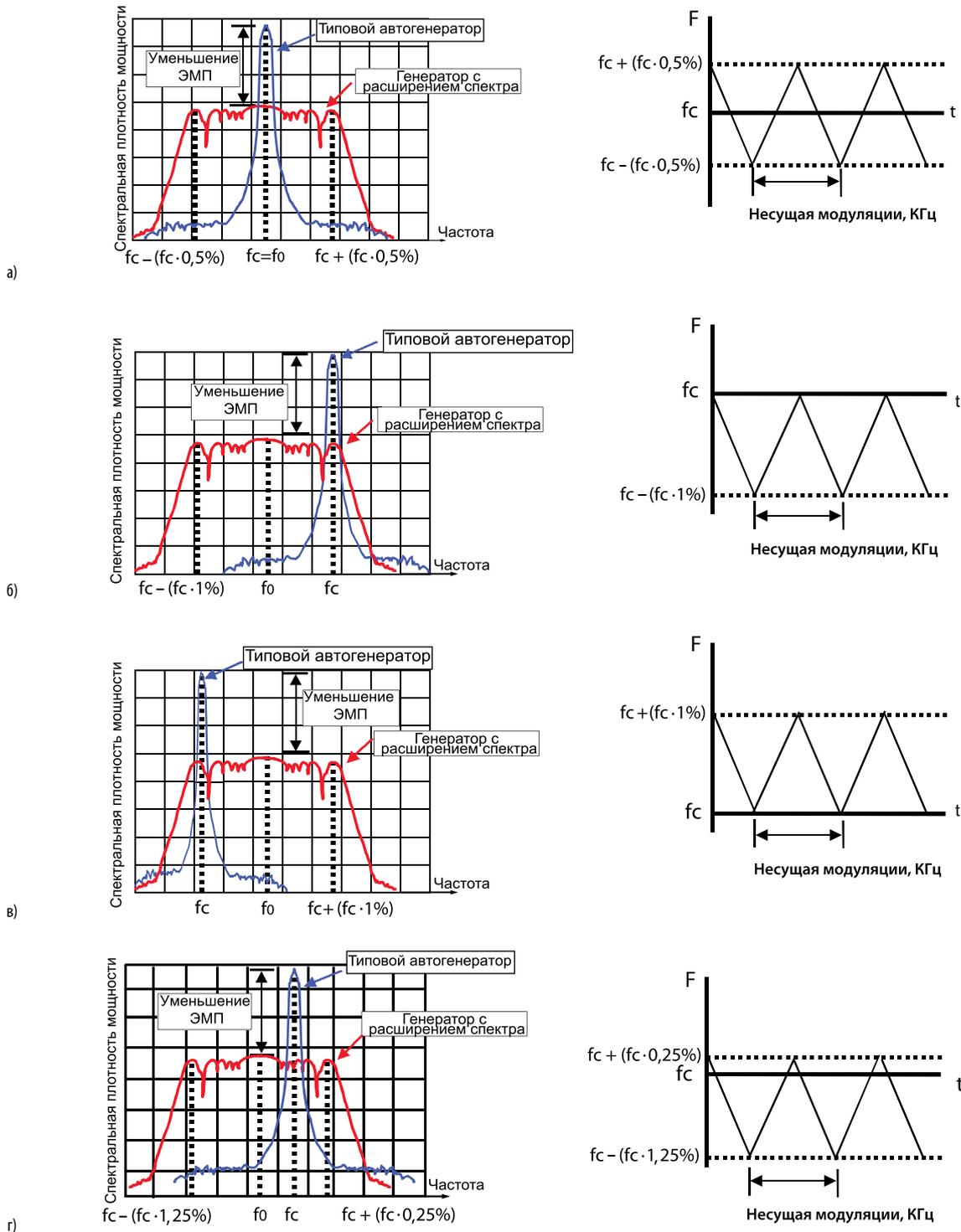


Рис. 3. Типы расширения спектра, применяемые в тактовых генераторах (SSCG): а) симметрично относительно центральной частоты (*Center spreading*); б) с понижением относительно центральной частоты (*Down-spreading*). Используется при невозможности повышения тактовой частоты ($f_0 > f_C$); в) с повышением относительно центральной частоты (*UP-spreading*); г) асимметричное расширение (*Asymmetric Spreading or Down-Center Spreading*). Применяется только компанией Mercury

всех сигналов, синхронных с тактовым, сократить время, необходимое для разработки устройств, отвечающих требованиям электромагнитной совместимости и уменьшить его стоимость. Сложности в применении генераторов с расширением спектра может вызвать их работа с интерфейсами ввода/вывода USB 2.0, Can, Ethernet, поскольку в них не предусмотрены функции буферизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. Табатабаи. *Управление тактовым сигналом при подавлении электромагнитных помех*// *Электронные компоненты*, №7, 2011.
2. Л. Белов. *Опорные генераторы*// *Электроника: НТБ* №6, 2004.
3. *Using Spread Spectrum Oscillators to Reduce Radiated Emissions in Consumer Products*// <http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN1995.pdf>
4. A. de M. Luca. *Spectrum shaping and its application: spread-spectrumclock generator*

- and circuits for Ultrawide Band//PhD Thesis, Jan. 2005 — Dec. 2007.
5. *Clock generation with Spread Spectrum*//<http://pdfserv.maximintegrated.com/en/an/AN1995.pdf>.
6. *EMI problems?*//<http://www.mercury-crystal.com>.
7. J. Browne. *Spread Spectrum Clocks Cut EMI*//<http://mwrf.com>.
8. Дирк Фишер. *Улучшение ЭМС с помощью широкополосных генераторов частоты*// *Электронные компоненты* №7, 2012.