

Частотный метод анализа синтезаторной системы импульсно-фазовой автоподстройки частоты. Часть 2. Элементы системы ФАП

Юрий Никитин (Санкт-Петербург)

Рассмотрены составляющие элементы синтезаторной системы фазовой автоподстройки – перестраиваемые генераторы (генераторы управляемые напряжением ГУН) и петлевые фильтры. Рассмотрены основные характеристики ГУН и приведены принципиальные электрические схемы некоторых из них. Показана роль петлевого фильтра нижних частот на основе типовых RC-звеньев. С помощью асимптотических логарифмических амплитудно-частотных и фазо-частотных характеристик (ЛАХ) проиллюстрированы их параметры.

Рассмотрим отдельные составляющие элементы кольца ИФАП (рис. 1) – их назначение в кольце, технические характеристики и описание параметров. Под техническими характеристиками будем понимать свойства входящих блоков (узлов) вне их связи с кольцом ФАП. Под параметрами будем понимать свойства входящих узлов как элементов структуры кольца ФАП.

ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ ГЕНЕРАТОР ПГ

Перестраиваемый автогенератор (ПГ или ГУН) – один из основных элементов кольца. ПГ в кольце ФАП – следует рассматривать как преобра-

зователь отклонений частоты в отклонения фазы [1, 2]. Но поскольку отклонение фазы – это интеграл от отклонения частоты, ПГ в кольце ФАП является интегратором с коэффициентом передачи $K_V/s \equiv K_V/(j\omega)$. В терминах и обозначениях частотного анализа (ЛАХ) коэффициент передачи ПГ как элемента кольца ИФАП будет иметь вид, показанный на рис. 2. По оси абсцисс отложены значения частоты отстройки Ω от несущего колебания ПГ. Нормировка может быть разной – к 1 Гц, к частоте среза кольца Ω_{CP} или к любой другой частоте. Фазовый набег интегратора постоянен и равен $-\pi/2$ или -90° .

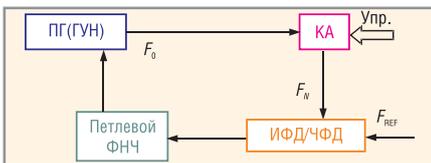


Рис. 1. Синтезаторное кольцо импульсно-фазовой автоподстройки частоты (ИФАП)

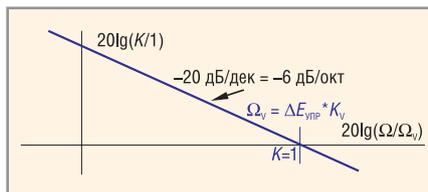


Рис. 2. Логарифмическая АЧХ ПГ как элемента кольца ФАП

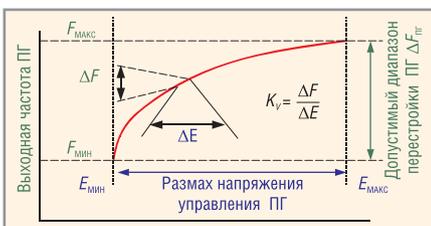


Рис. 3. Управляющая характеристика ПГ

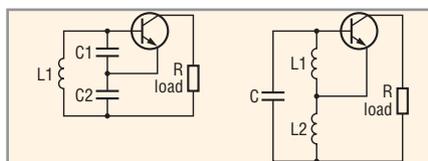


Рис. 4. Обобщённая схема ПГ: ёмкостная трёхточка (схема Колпитца) – слева и индуктивная трёхточка (схема Хартли) – справа

Управляющая характеристика ПГ, как правило, нелинейна и даже не всегда монотонна (рис. 3), а её крутизна K_V непостоянна. Однако в малых окрестностях каждой рабочей точки её можно заменить касательной, т.е. линеаризировать. Произведение

$$\Delta E_{упр} K_V = \omega_V \quad (1)$$

где ω_V – полоса удержания (полоса перестройки ПГ); $\Delta E_{упр}$ – размах управляющего напряжения на входе ПГ.

На рис. 4 и 5 приведены структурные и принципиальные электрические схемы LC ПГ – ГУН, реализованных по наиболее распространённым схемам – ёмкостной (слева) и индуктивной (справа) трёхточки.

На рис. 6 приведены принципиальная электрическая схема ГУН с октавным перекрытием по частоте 1...2 ГГц, управляющая и выходная характеристики [3].

На рис. 7 приведены принципиальная электрическая схема СВЧ ГУН на дифференциальном каскаде [3].

Чистота спектральной линии генератора зависит от мощности, подводимой к колебательной системе, точнее, от соотношения подводимой мощности и шумового порога. Ясно, что чем выше уровень мощности генерируемого колебания, тем при прочих равных условиях выше отношение сигнал/шум схемы. Действительно, при относительном постоянстве тепловых шумов пассивных элементов увеличение абсолютного уровня полезного сигнала увеличивает это отношение. Достичь необходимого результата можно либо увеличением добротности фиксирующего элемента – контура или резонатора, либо увеличением тока, протекающего через активный прибор, либо комбинацией указанных мер.

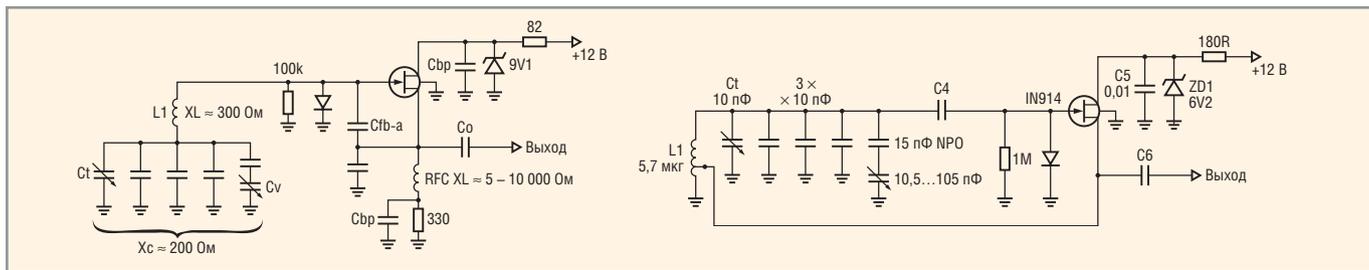


Рис. 5. Пример реализации ГУН на частоту 7,0 – 7,2 МГц (слева) и на частоту 5,0 – 5,1 МГц (справа)

На рис. 8 приведена принципиальная электрическая схема ГУН на керамическом резонаторе и распределение его фазовых шумов при отстройках от несущей 100 Гц...100 МГц. Внешний вид печатной платы приведён в дополнительных материалах на сайте журнала.

У опорных кварцевых генераторов (ОКГ) высокая долговременная стабильность частоты, но относительно большой уровень шумов в «дальней» зоне отстройк. Основное требование к ОКГ – обеспечение высокой долговременной стабильности частоты. Для этого уменьшают мощность, рассеиваемую на «фиксирующем» элементе генератора – кварцевом кристалле. Это приводит к относительно низкой кратковременной стабильности (повышенному уровню ВЧ-шумов) и, как следствие, – к высокому шумовому пьедесталу [4 – 7]. У перестраиваемых кварцевых генераторов (КГ) очень малый диапазон перестройки по частоте.

Спектральную линию автогенератора условно можно разделить на пьедестал и крылья (рис. 9) [1]. Крылья спектральной линии будут спадать до тех пор, пока не достигнут уровня тепловых шумов. Можно записать [2], что минимальная мощность тепловых шумов (шумов Найквиста) на выходе усилителя или генератора при комнатной температуре $P_{ш\max}[\text{дБм}] = -174 + 10\lg\Delta F + NF$, где ΔF – ширина полосы частот в Гц; NF – коэффициент шума активного прибора.

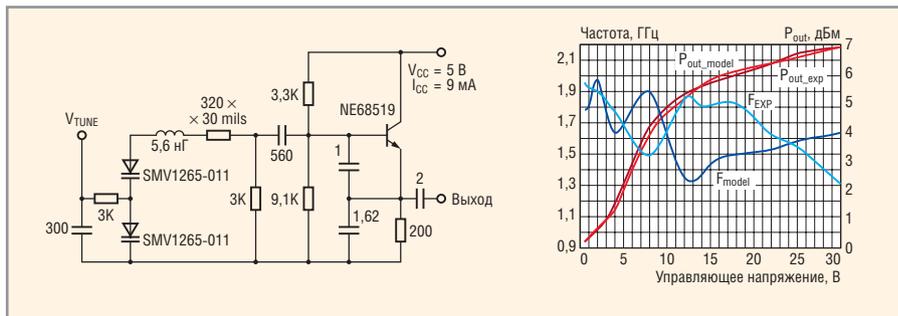


Рис. 6. Пример реализации ГУН по схеме Колпитца с октавным перекрытием по частоте

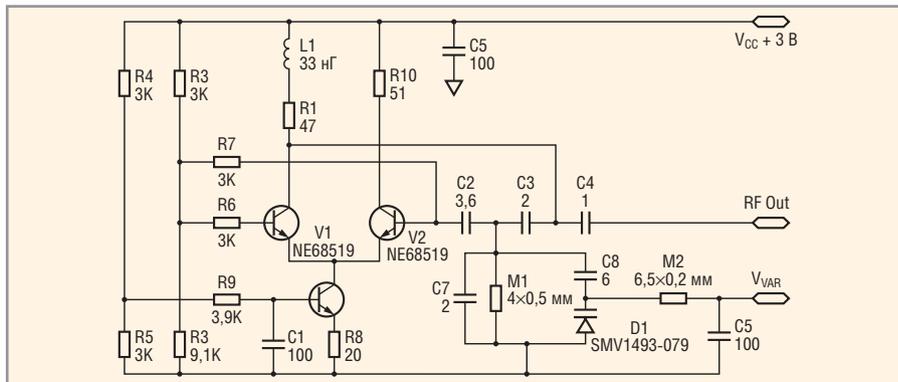


Рис. 7. Пример реализации широкополосного дифференциального СВЧ ГУН

Современные и перспективные виды модуляции требуют увеличения разрешающей способности аппаратуры по амплитуде, частоте и времени. Поэтому чем спектральная линия уже, тем более «продвинутые» виды модуляции и способы обработки сигнала можно использовать. Узкая спектральная линия генератора соответствует высокой долговременной стабильности генерируемого колебания.

Такая линия характерна для водородных, цезиевых, рубидиевых и высокочастотных кварцевых генераторов; относительная нестабильность колебаний указанных генераторов достигает соответственно единиц двенадцатого – девятого знака. Выходная частота этих генераторов составляет ряд стандартных значений от 5 до 100 МГц. Более широкая спектральная линия характерна для ПАВ-генерато-

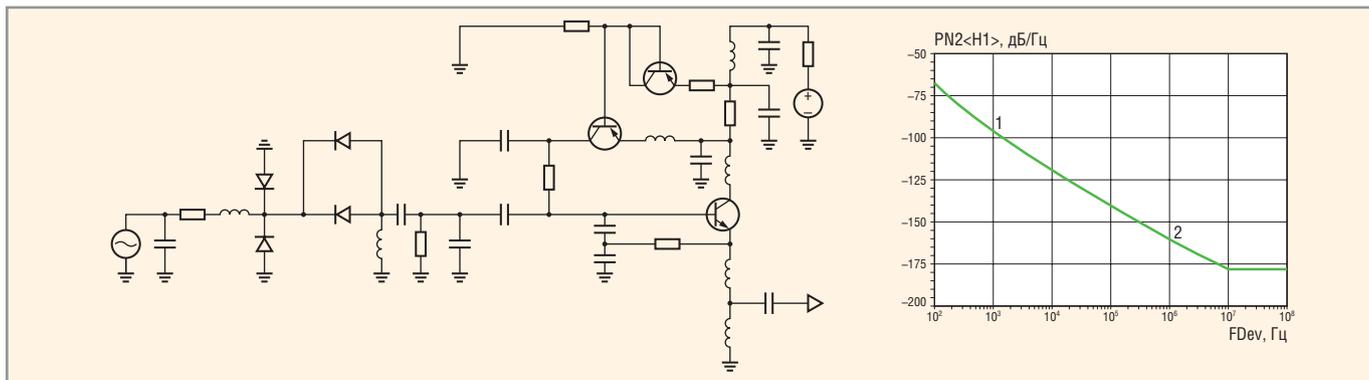


Рис. 8. Принципиальная схема 1 ГГц ГУН на керамическом резонаторе (CR0) и распределение фазовых шумов на его выходе

синтезатора с прескалером (двухмодульным делителем), имеет вид:

$$F_0 = \frac{I_{REF} N}{R} (PB + A), \quad (2)$$

где F_0 – выходная частота VCO (ГУН); P – модуль прескалера; B – коэффициент деления счётчика B ; A – коэффициент деления счётчика A , $0 \leq A < B$; $F_{оп}$ – входная опорная частота; R – коэффициент деления опорного делителя счётчика R .

Для минимизации уровня привносимых делителем частоты шумов необходимо минимизировать число логических элементов, через которые проходит сигнал со входа счётчика до его выхода – до одного [13].

Введение делителя частоты N в цепь обратной связи повышает инерционность кольца ФАП. Действительно, если в кольце ИФАП с единичной обратной связью ($N = 1$) сигнал ошибки вырабатывается детектором за каждый период сравнения, то в кольце с делением частоты ГУН сигнал ошибки формируется реже в N раз. Инерционность может быть снижена введением дополнительного усиления, которое будет частично компенсировать влияние N , но

Таблица 2. ЛАХ типовых RC-звеньев

| Тип звена петлевого фильтра | Формула для $K(s)_{ФНЧ}$ и $\psi_{ФНЧ}$ | Частоты излома характеристики |
|-------------------------------------|--|--|
| Изодромное | $W = (1 + \tau s)/s$ $\psi = -90^\circ + \arctg(\omega\tau)$ | $\Omega_{из3} = 1/\tau$ |
| Интегрирующее (аперидическое) | $W = 1/(1 + sT)$ $\psi = -\arctg(\omega T)$ | $T = RC$ $\Omega_{из3} = 1/T$ |
| Пропорционально-интегрирующее (ПИФ) | $W = (\tau s + 1)/(Ts + 1)$ $\psi = -\arctg(\omega T) + \arctg(\omega\tau)$ | $\tau = R_2 C$; $T = (R_1 + R_2) C$ $\Omega_{из1} = 1/T$ $\Omega_{из2} = 1/\tau$ |

есть и другой путь. В синтезаторах частот можно использовать не только целочисленные ДПКД типа Integer-N, но и делители с дробно-переменным коэффициентом деления (ДДПКД) типа Fractional-N, но ограничения на минимальный коэффициент деления N в таком случае ещё более жёсткие.

Значения целой части N для делителей Fractional-N всегда меньше (например, $N = 61,25$ вместо 6125 для Integer-N) при соответственно меньшем (в те же 100 раз) времени неуправляемой работы ПГ и, при прочих равных, инерционности кольца. Если же частоту среза кольца оставить без изменений, то инерционность кольца изменится незначительно. Так будет в случае сохранения шага сетки при замене ДПКД на ДДПКД. Зато фазовые шумы

ПГ будут меньше вследствие более частого появления сигнала ошибки (в те же 100 раз). Однако при введении дробности в кольцо ИФАП усложняются условия фильтрации сигнала ЧФД, и частотная характеристика кольца может потребовать коррекции (обужения) для сохранения устойчивости, требуемого уровня ПСС и обеспечения приемлемой колебательности переходного процесса при смене частот.

При использовании ДДПКД шаг сетки синтезируемых частот всегда меньше частоты сравнения. Это удобно, а зачастую и необходимо в случае мелкого шага сетки при высокой выходной частоте, т.е. при больших значениях N коэффициента деления ДДПКД. В большинстве таких синтезаторов максимальное значение

МЕЖДУНАРОДНЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ВЫСТАВКИ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ
 Москва, МВЦ «Крокус Экспо» 23 – 26 октября 2007 года, пав. № 1, зал № 3



ЭлектроТехноЭкспо



НЕФТЕГАЗОВЫЙ КОМПЛЕКС И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА



АгроЭнергетика

www.electrotechnoexpo.ru

Время работы выставки:
 23 октября - с 11:00 до 18:00
 24 октября - с 10:00 до 18:00
 25 октября - с 10:00 до 18:00
 26 октября - с 10:00 до 16:00

ПОД ПАТРОНАЖЕМ

Торгово-промышленной палаты РФ

ОРГАНИЗАТОРЫ:

MAYER J. ЭКСПОЦЕНТР «Российское газовое общество»
 Ассоциация предприятий производственно-технологического сервиса АПК РФ

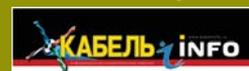
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ СПОНСОР:



ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ИНТЕРНЕТ-СПОНСОР:



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ИНФОРМАЦИОННЫЙ ПАРТНЕР:



Logos of various sponsors and partners including: ФОРМУЛА строительства, РЫНОК Электротехники, Лифт ИНФОРМ, M&T Consulting Ltd., LARICS, Регионы, МЕТАЛЛЫ ЦЕНЫ, Электротехнический рынок, ЭЛЕКТРИК, СОБЛЮДИТЕ ОБУСЛОВИЯ, СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ, Энергетика, НЕФТЕГАЗ, ЭНЕРГЕТИКА РОССИИ, ЭНЕРГОНАДЗОР, НОВОСТИ электротехники, неогосслужба предприятия, АИТЭА, ПРЕСС-ЭЛЕКТРО, Стройка группа газет, Славянец, Академия Энергетики, elec.ru

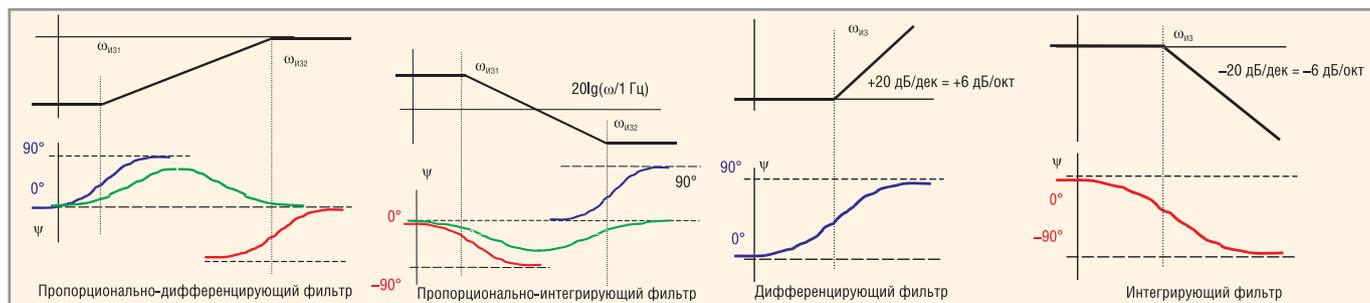


Рис. 14. ЛАХ типовых звеньев САР

дробности может быть установлено в пределах от 1/8...1/32 до 7/8...31/32 [14 – 17], но может быть и (1...4094)/4095, как, например, в синтезаторе ADF4153/ADF4154 [18].

Так, при синтезе сетки с шагом 200 кГц в диапазоне частот 1800 МГц (стандарт GSM) время неуправляемой работы ГУН составляет 5 мкс. За такое время параметры ГУН под воздействием дестабилизирующих факторов могут измениться настолько, что о стабильности выходной частоты и, соответственно, о качестве выходного сигнала можно будет говорить с большой натяжкой. В результате могут возникнуть проблемы формирования и обработки информационных потоков, не все современные виды модуляции можно будет использовать. Использование дробного делителя в тракте приведения с коэффициентом дробности 32 позволяет увеличить частоту сравнения в кольце в 32 раза – до 6,4 МГц при том же шаге сетки 200 кГц; время неуправляемой работы уменьшится до 156,25 нс, и требования к качеству примененного ГУН можно ослабить. Сходные проблемы возникают, например, и в диапазоне 430 МГц, в котором может потребоваться шаг сетки 1,25 кГц (время неуправляемой работы ГУН 800 мкс). Использование ДДПКД с коэффициентом дробности 100 позволяет снизить это ограничение до 8 мкс и менее.

Тем не менее, следует иметь в виду, что итоговую полосу кольца определит петлевой ФНЧ, требования к которому будут зависеть в том числе и от желаемого уровня ДПСС в спектре выходного колебания.

Разумеется, использование дробности может потребовать не только функциональной (алгоритмической) компенсации помех, но и, например, амплитудной (рис. 11). Способы токовой амплитудной компенсации широко используют в синтезаторах серии TRF**** фирмы Texas Instrument [15], в

«платиновой» серии LMX**** фирмы National Semiconductor [14] и в синтезаторах серии SA**** фирмы Philips [16].

Петлевой фильтр нижних частот

Основной задачей петлевого ФНЧ является дополнительная фильтрация помех с частотами, кратными частоте сравнения (при ДПКД, Integer-N-делителе) или кратными частоте шага сетки (ДДПКД, fractional-N-делителе). Кроме того, важной функцией петлевого фильтра является обеспечение требуемой АЧХ кольца и его безусловной устойчивости (рис. 12) [2, 13].

Кроме того, петлевой фильтр кольца должен:

- «мягко» сопрячь спектральные характеристики опорного и перестраиваемого генераторов;
- уменьшить на необходимую величину, «дофильтровать» ДПСС, кратные шагу сетки кольца, которые не были достаточно отфильтрованы тандемом «ЧФД + изодром»;
- создать достаточный запас по фазе на частоте среза кольца во всём диапазоне перестроек и эксплуатационных воздействий.

При этом, кстати, надо помнить и о том, что по управляющему входу любой ПГ обладает и конечной шириной полосы пропускания, и определённым импедансом. Эти параметры также надо учитывать при проектировании петлевого фильтра кольца ФАП.

В основном в составе петлевого ФНЧ используют типовые RC-звенья: RC-ФНЧ и пропорционально-интегрирующий фильтр (ПИФ), а также пропорционально-дифференцирующий фильтр (ПДФ). Их ЛАХ приведены в табл. 2. Особенность ПИФ заключается в том, что, во-первых, его мгновенное выходное напряжение на высоких частотах ($\omega > \Omega_{из2}$) пропорционально мгновенному значению входного напряжения, а в области нижних частот оно зависит от интеграла по-

следнего. Во-вторых, фазовый набег ПИФ не превышает 90°, стремясь к нулю вне рабочего интервала $\Omega_{из1} \dots \Omega_{из2}$.

Для корректировки АЧХ кольца ИФАП, например, при использовании дробного деления (fractional-N) или при широкополосном синтезе, используют интегро-дифференцирующие звенья [19, 20]. ЛАХ и ФЧХ типовых звеньев приведены на рис. 13 – 14.

Знание основ теории ФАП, владение основами метода частотного анализа систем автоматического регулирования, наличие «банка данных» типовых звеньев и параметров используемых элементов позволяет анализировать фильтрующие свойства кольца и проводить его оценочный расчёт с точки зрения фильтрации помех, воздействующих на систему синтеза частот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков А.В., Попов В.Н. Синтезаторы частот в технике радиосвязи. М.: Радио и связь, 1991.
2. Манассевич В. Синтезаторы частот (Теория и проектирование). М.: Связь, 1979.
3. www.alphaind.com.
4. www.raltron.com.
5. www.valpeyfisher.com.
6. www.golledge.com.
7. www.geyer-electronic.com.
8. www.hittite.com.
9. www.zcomm.com.
10. www.sirenza.com.
11. www.minicircuits.com.
12. www.synergy.wave.com.
13. Зарецкий М.М., Мовшиович М.Е. Синтезаторы частоты с кольцом фазовой автоподстройки. Л.: Энергия, 1974.
14. www.national.com.
15. www.ti.com.
16. www.semiconductors.philips.com.
17. www.fujitsu.com.
18. www.analog.com.
19. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные автоматические системы. М.: Машиностроение, 1977.
20. Куропаткин П.В. Теория автоматического управления. М.: Высшая школа, 1973. ©

Новости мира News of the World Новости мира

Дисплеи для iPhone будут поставляться из Японии

Согласно неподтвержденным слухам, предполагалось, что компании – разработчики ЖК-панелей AU Optronics (AUO) и Innolux Display могут вскоре получить заказы от компании Apple на поставки панелей для грядущего поколения смартфонов iPhone. На днях представители этих компаний опровергли все эти данные, отметив, что Apple, скорее всего, выберет несколько японских компаний, в то время как один тайваньский разработчик станет второстепенным поставщиком панелей для iPhone.

Судя по имеющимся данным, аппараты iPhone будут комплектоваться низкотемпературными LTPS-дисплеями. Известно, что в Тайване производством панелей такого типа занимаются только две компании: AUO и TPO Displays. Парадокс, но немного ранее в этом месяце Хсинг Си Туан (Hsing C Tuan), президент Innolux, заявил, что его компания получила заказы от Apple на поставки дисплеев для телефонов iPhone и планируется отгрузить большую партию панелей для внедрения их в современные смартфоны. Однако дополнительных вестей от Innolux пока не поступало.

digitimes.com

Брюс Дизен: состояние рынка полупроводников в апреле

По словам известного американского аналитика Брюса Дизена (Bruce Diesen), продажи полупроводников в апреле этого года превысили \$20,2 млрд., что немного ниже показателей предыдущего месяца – марта, когда полупроводниковой продукции было отгружено на \$20,34 млрд. (данные статистики World Semiconductor Trade Statistics и United States Semiconductor Industry Association). Дизен предсказал падение апрельских продаж более чем на 2,7% по сравнению с мартом, но в то же время рост показателей на 10,9% в межгодовом сопоставлении.

По словам Дизена, апрель ознаменовался началом очередной ценовой войны между компаниями Intel и AMD, состояние рынка памяти DRAM всё ещё оставляет желать лучшего. Стабильными показателями смог отличиться лишь рынок мобильных устройств, в частности телефонов, где был зафиксирован 10-% рост по сравнению с показателями прошлого года.

В 2007 г. ожидается 5-% рост поставок полупроводников наряду с 7-% увеличением продаж кремниевых подложек.

eetimes.com

Запуск SED TB в очередной раз откладывается

Японская корпорация Toshiba в очередной раз объявила о переносе начала продаж давно ожидаемых телевизионных приёмников с панелью, выполненной по технологии SED, которые планировалось доставить к прилавкам магазинов в четвертом квартале 2007 г.

Напомним, что формированием изображения в SED (surface-conduction electron-emitter display – дисплей с электронным эмиттером и проводящей поверхностью) занята матрица электронных излучателей, по одной электронной пушке на каждый пиксель, бомбардирующая частицы люминофора на экране. Новая технология, разработанная Toshiba совместно с другой японской компанией – Canon, позволяет производить сверхтонкие ЖК-панели (до 10 мм) повышенной яркости и большого размера по диагонали. Предполагалось, что они составят конкуренцию плазменным панелям в секторе крупнопанельных ТВ, однако запуск их массового производства постоянно переносится.

Как указывается в коротком пресс-релизе компании Toshiba, основной причиной очередной задержки является неспособность компании Canon начать отгрузку SED-панелей к обговоренному ранее сроку. Новая, даже ориентировочная, дата появления SED-телевизоров на прилавках магазинов не сообщается.

toshiba.co.jp

Hitachi и Matsushita объявили о сотрудничестве

Представители гигантов ИТ-мира, компаний Hitachi и Matsushita Electric Industrial, выступили перед общественностью с заявлением о расширении сотрудничества между компаниями в сфере разработки и внедрения плазменных ТВ.

Согласно договору, отныне Matsushita (известная миру благодаря бренду Panasonic) начнёт поставлять Hitachi 103-дюймовые плазменные панели, в то время как Hitachi обеспечит Matsushita 85-дюймовыми плазменными панелями. Предварительно начало сотрудничества состоится в конце 2007 финансового года.

Как известно, это не первое соглашение между компаниями по сотрудничеству. К примеру, в 2005 г. разработчики заключили ряд договоров по обмену технологиями и кооперации в сфере разработки плазменных панелей, маркетинге и интеллектуальной собственности.

Как видим, ввиду жёсткой конкурент-

ной борьбы и наличия изготовителей, готовых предоставлять потребителю яркие альтернативные продукты, разработчикам приходится идти на сближение, особенно на рынке плазменных ТВ.

dailytech.com

LG.Philips LCD займётся выпуском ЖК-панелей восьмого поколения

Несмотря на сделанные ранее в этом году официальными представителями LG.Philips LCD заявления об отказе инвестировать в развитие производства жидкокристаллических панелей восьмого поколения (8G), согласно появившейся на днях информации, планы компании могут уже в ближайшем времени измениться.

Напомним, что в январе 2007 г. Рон Вирахадиракса (Ron Wirahadiraksa), президент и финансовый директор LG.Philips LCD, заявил, что несмотря на наличие свободных мощностей для начала производства панелей восьмого поколения, компания не намерена затратить ни доллара на развитие указанного производства в связи с его высокой убыточностью. Однако, согласно полученным неофициальным данным, новая фабрика LG.Philips LCD по производству ЖК-панелей восьмого поколения должна вступить в строй не позднее конца 2008 г.

Изменение планов LG.Philips LCD, по видимому, связано с активизацией деятельности её основных конкурентов по вводу в строй производственных мощностей для выпуска ЖК-панелей следующих поколений. Так, один из крупнейших участников рынка тайваньская AU Optronics (AUO), несмотря на отказ инвестировать в производство панелей восьмого поколения, недавно объявила, что имеет планы на выпуск следующих поколений жидкокристаллических матриц, не сообщив, к сожалению, при этом никаких деталей.

Ещё один серьёзный участник рынка, Chi Mei Optoelectronics (CMO), также заявил о своих планах по миграции производства на субстраты восьмого поколения на строящейся фабрике, однако ещё не определилась с объёмами производства. Совместное предприятие Samsung и Sony – S-LCD – начнёт массовое производство панелей последнего поколения уже текущим летом, а японская корпорация Sharp не только уже производит указанные панели, но и намерена расширить выпуск стеклянных подложек до 90 тыс. шт. в месяц.

digitimes.com