Глава 16

ГЕНЕРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

16.1. Общие принципы реализации генераторного оборудования систем передачи

Генераторное оборудование (ГО) является самостоятельной частью аппаратуры многоканальных систем передачи и предназначено для формирования заданной совокупности номиналов частот (сетки частот) синусоидальной или прямоугольной формы, обеспечивающей работу систем передачи: несущих, контрольных, измерительных, вызывных и др.

Генераторное оборудование АСП, ЦСП, аппаратуры тонального телеграфирования имеют следующие общие принципы реализации: 1. В целях обеспечения требуемой стабильности частоты и достаточной простоты оборудования все номиналы частот ГО формируются, как правило, на основе единственной высокостабильной частоты f_0 задающего генератора (ЗГ) или полученной от ЗГ управляющей частоты $f_у = \varphi(f_0)$. 2. Любая частота f_k получается из частоты f_0 либо умножением $f_k = kf_0$, либо делением $f_k = f_0/k$, либо сложением и вычитанием полученных гармоник частоты f_0: $f_k = f_k \pm f_{k+i}$, либо, в редких случаях, использовать дробно-рациональную часть частоты задающего генератора $kf_x = f_0 (k / m)$ или его гармоники $f_x = f_k (k/m)$. Здесь *к, m, i* – целые числа. 3.Если требуемая сетка частот состоит из нескольких обособленных групп (например, индивидуальные несущие частоты, групповые несущие частоты, контрольные частоты, измерительные частоты и др.), то каждая из групп формируется на основе своей управляющей частоты $f_у$, полученной обязательно из частоты задающего генератора f_0 приведенными выше действиями. 4. В целях уменьшения числа операций обработки для получения от ГО требуемых номиналов частот частоту ЗГ, а также управляющие частоты выбираются кратными 4кГц (например: 4, 12, 60, 128, 192, 372кГц и др.). 5. Заданные требования по перечню номиналов частот, электрическим параметрам, надежности, экономичности, габаритам и массе обеспечиваются при производстве на основе применения современной интегральной микросхемотехники, высоких технологий и максимальной повторяемости основных устройств (узлов) ГО, а также в отдельных случаях их резервирования. Наиболее жесткие требования предъявляются к ГО аналоговых систем передачи, а их реализация является достаточно сложной. Поэтому ниже рассмотрены требования к ГО с учетом прежде всего интересов АСП.

16.2. Требования к основным параметрам генераторного оборудования

К основным параметрам ГО относятся номиналы частот и их стабильность, амплитуда и форма колебаний с допустимыми отклонениями их значений. Рассмотрим требования к этим параметрам.

16.2.1. Требования к стабильности частоты

В аналоговых системах передачи (системах передачи с частотным разделением каналов) наиболее жесткие требования к стабильности предъявляются к несущим частотам, так как они определяются нормой изменения частоты сигнала в каналах передачи ΔF (см. гл. 18). Так, для простого канала ТЧ ЕСЭ $\Delta F \leq$ 0,5 Гц. Тогда абсолютная нестабильность любой несущей частоты f_k одной оконечной станции должна быть

$$\Delta f \leq \Delta F/2 = 0{,}25 \text{ Гц}. \qquad (16.1)$$

Для конкретной системы передачи это требование принято относить к наивысшей виртуальной несущей частоте линейного спектра – это такая несущая частота, с помощью которой при одном преобразовании получается спектр самого высшего по частоте канала ТЧ в линейном спектре. Например, для линейного спектра 12…252 кГц виртуальная несущая частота f_E=252 кГц, так как с ее помощью после преобразования получается спектр канала $f_в$ – (0,3…3,4) = 248,6…251,7 кГц. Однако, исходя из основного принципа построения ГО, в конечном итоге необходимо перейти к требованию стабильности частоты f_0 ЗГ: абсолютное значение отклонения частоты ЗГ от номинала должно соответствовать требованию к отклонению от номинала виртуальной частоты $\Delta f_0 = \Delta f_E \leq \Delta f$. Тогда требование к относительной нестабильности ЗГ определится из соотношения

$$\Delta f_0 / f_0 \leq \Delta f / f_в \qquad (16.2)$$

Например, для систем передачи К-60П, П-300, П-306 $f_в$=252кГц и при ΔF = 0,5 Гц с учетом (16.1) требование к относительной нестабильности ЗГ

$$\Delta f_0 / f_0 \leq 0{,}25 / 252 \cdot 10^3 \approx 1 \cdot 10^{-6}$$

16.2.2. Требования к стабильности амплитуды

Изменение амплитуды несущего колебания E_f приводит к изменению рабочего затухания модуляторов (см.гл.11) и, следовательно, к нестабильности остаточного затухания Δa_r. При выборе величины амплитуды E_f= 0,8…1,0 В, когда нелинейные элементы модулятора (диоды, транзисторы) работают в ключевом режиме (на практике это обычно так), требования к стабильности амплитуды оказываются не очень жесткими. Если допустить изменениеΔa_r= $\pm$ 0,1дБ, то достаточно требование относительной нестабильности $\Delta E_f / E_f \leq \pm 10\%$.

Однако для контрольных частот требуется жесткая стабилизация их уровня (амплитуды), так как нестабильность уровня КЧ будет вызывать *изменение усиления усилителей с АРУ по КЧ, и это приведет к увеличению нестабильности остаточного затухания (усиления) в каналах передачи. Обычно обеспечивают стабильность амплитуды КЧ не хуже чувствительности АРУ (см.гл.15). При

чувствительности устройств АРУ $\Delta p_{кч} \leq \pm$ (0,04…0,05) дБ требование к относительной нестабильности амплитуды КЧ $\Delta E_{кч} / E_{хч} \leq$ (0,5…1,0)%.

16.2.3. Требования к форме колебаний

Искажение формы синусоидального несущего тока может быть за счет гармоник и других паразитных составляющих, сопутствующих сигналу заданной частоты, которые, попадая на модуляторы, приводят к появлению внятных или невнятных помех между каналами или групповыми трактами системы передачи, увеличению нелинейных шумов.

Обычно паразитные составляющие имеют частоты вида $nf_н$, $f_н \pm nf_у$ и $f_н \pm nf_п$, где $f_н$– заданная несущая частота, $f_у$– управляющая частота, $f_п$ –частота помехи от источников питания (чаше всего $f_п$ = 50 Гц), n – целое число. За счет гармоник любого несущего колебания $nf_н$ на выходе модуляторов появляются практически несущественные значения побочных продуктов преобразования вида $3f_н \pm F$, $5f_н \pm F$,… (см.гл.11).

Так как любая несущая частота $f_н = nf_0$ или $f_н = nf_у$, то паразитные составляющие вида $f_н \pm f_у = (n \pm 1)f_у$ приводят к появлению невнятных помех при индивидуальном канальном преобразовании каналов ТЧ (рис.16.1) и к внятным помехам при групповом преобразовании, например, первичных групп 60…108 кГц (рис.16.2). На обоих рисунках для определенности полученная от ЗГ управляющая частота $f_у$ = 4 кГц, в качестве несущей частоты используется 30- гармоника (n=30), а за паразитные – соседние гармоники ($n \pm 1$). Преобразуемые и используемые сигналы на выходе модулятора показаны сплошными линиями, помехи – пунктирными.

Таким образом, требования к форме синусоидальных колебаний определяются требованиями к помехозащищенности каналов или трактов передачи, а отсюда - к степени подавления тех или иных паразитных спектральных составляющих, сопутствующих сигналу данной несущей частоты. Расчеты показывают, что в первом из рассмотренных выше случае паразитные гармоники должны быть подавлены не менее чем на 55...60 дБ, а во втором – на 80…90 дБ. С точки зрения помехозащищенности гармонический способ синтеза несущих частот (от одного ЗГ) хуже по сравнению со способом индивидуальных генераторов. Установлено, что помехозащищенность сигнала несущей частоты $f_н = nf_0$ ниже помехозащищенности сигнала ЗГ частоты f_0 примерно на 20lg$n$, дБ. Это следует учитывать при конструировании генераторного оборудования.

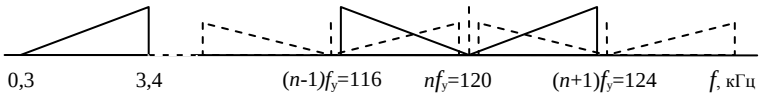

Рис. 16.1

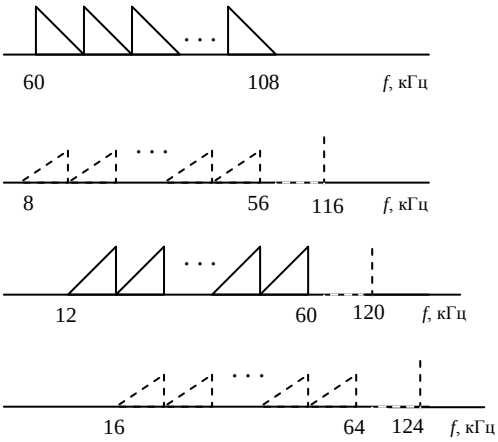

Рис. 16.2

Искажения несущего тока прямоугольной формы характеризуются конечной крутизной фронтов и спадом плоской части импульсов, влияние которых подобно действию нелинейности синусоидального тока. Флюктуации фронтов импульсов вызывают паразитную фазовую модуляцию несущего тока, что приводит к появлению переходных помех. Однако в целом несущие колебания прямоугольной формы обеспечивают по сравнению с колебаниями синусоидальной формы несколько лучшие параметры преобразования при значительном упрощении генераторного оборудования за счет отсутствия ненужных здесь фильтров для выделения различных номиналов частот. Поэтому современные аналоговые системы передачи оснащены в основном бесфильтровым генераторным оборудованием, обеспечивающим получение необходимых номиналов несущих колебаний прямоугольной формы и требуемых номиналов частот синусоидальной формы с максимальным использованием операций цифровой обработки сигналов.

16.3. Основные узлы генераторного оборудования

16.3.1. Задающие генераторы

Важнейшим из узлов ГО является задающий генератор (ЗГ). Для обеспечения рассмотренных выше требований к стабильности частоты ЗГ реализуется только на основе кварцевых генераторов. Обычно выбор кварцевого резонатора (КР) с определенной собственной резонансной частотой определяет и номинал частоты ЗГ. При выборе КР учитывается также его надежность, габариты, наличие налаженного производства.

Кварцевый резонатор или весь ЗГ помещается в термостат, в котором поддерживаются постоянные температурные условия с точностью до десятых, а иногда до сотых долей градуса Цельсия. В дополнение к этому применяются высокостабильные задающие элементы L и C с противоположными температурными коэффициентами (параметрическая стабилизация) и стабилизация питающих напряжений. Перечисленные методы позволяют поддерживать относительную нестабильность частоты ЗГ не хуже $10^{-7}\ldots10^{-8}$ на достаточно длительный период времени (обычно до полугода).

Для компенсации медленных изменений частоты за счет старения элементов схемы ЗГ предусматривается периодическая сверка и эксплуатационная подстройка частоты ЗГ по эталонной частоте (частоте сличения). На крупных узлах связи в качестве частоты сличения используется частота эталонного сигнала, получаемого от специального генератора по выделенному (обычно радио-) каналу. На небольших УС подстройка частоты ЗГ осуществляется относительно частоты ЗГ оконечной станции крупного УС по измерительному сигналу (обычно 800 Гц), передаваемому по одному из каналов ТЧ системы передачи. Для сверки частот используется осциллограф, на одну из пластин которого подается сигнал от проверяемого ЗГ, а на другую – эталонный сигнал. Подстройка генератора осуществляется изменением емкости специально для этого предназначенного конденсатора в схеме ЗГ до полной остановки фигуры на экране осциллографа.

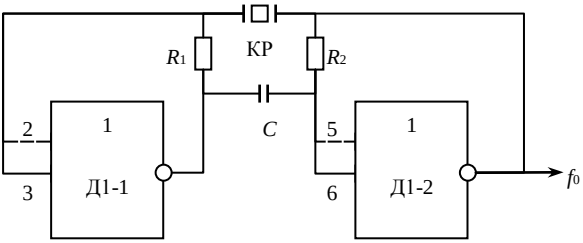

Рис. 16.3

Значительно более простыми по устройству и надежными в эксплуатации являются кварцевые задающие генераторы на основе цифровой интегральной микросхемотехники. Кроме того, они более предпочтительны и по массогабаритным показателям. Один из вариантов такого ЗГ представлен на рис. 16.3. Он выполнен на инверторах Д1-1 и Д1-2 (134ЛБ1Б) по схеме симметричного мультивибратора с кварцевым резонатором КР в цепи положительной обратной связи. Частота ЗГ определяется собственной резонансной частотой КР. Конденсатор C является разделительным. Резисторы R_1 и R_2 обеспечивают режим самовозбуждения генератора.

16.3.2. Делители частоты

Наиболее широкое применение в генераторном оборудовании получили цифровые делители частоты (ДЧ) счетного типа на интегральных микросхемах, обеспечивающие практически любой требуемый коэффициент деления. Синусоидальное колебание перед подачей на ДЧ преобразуется в импульсное.

Один из вариантов ДЧ приведен на рис.16.4. Формирующее устройство (ФУ) преобразует синусоидальное колебание управляющей частоты $f_у$ в последовательность прямоугольных импульсов такой же частоты. Обычно в качестве ФУ используется триг-

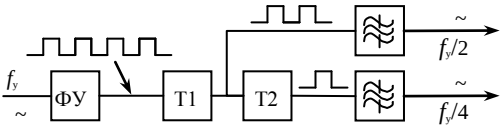

Рис. 16.4

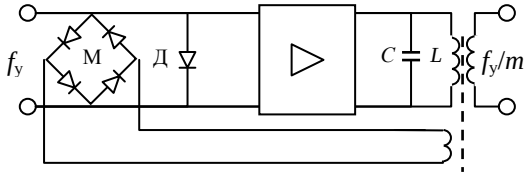

Рис. 16.5

гер Шмитта. Собственно делитель состоит из триггеров со счетным входом Т1 и Т2, каждый из которых делит входную последовательность на 2. При необходимости последовательности импульсов с выходов обоих триггеров могут быть использованы в качестве токов несущих частот прямоугольной формы или с помощью полосовых фильтров, выделяющих первую гармонику, преобразованы в токи синусоидальной формы. При использовании в цепочке n триггеров можно получить деление частоты в 2^n раз. Для получения коэффициентов деления, отличных от величины 2^n, приведенная схема дополняется обратными связями, то есть импульсы с выхода некоторых триггеров подаются на входы предыдущих.

Непосредственное деление частоты синусоидального тока осуществляется аналоговой схемой регенеративного делителя частоты, один из вариантов которого приведен на рис. 16.5. При включении питания в колебательном контуре *LC* резонансного усилителя, настроенного на частоту f_y/m, возникают затухающие колебания этой частоты, которые подаются на один из входов модулятора М. На другой вход М подается высокостабильная управляющая частота f_y. На выходе М среди продуктов преобразования будут токи частотой f_y и частотой– f_y / m. Эти токи попадают на простейший демодулятор (детектор) Д, в нагрузке которого среди продуктов преобразования будет и ток боковой частоты вида $f_y - (f_y - f_y / m)$. Эта составляющая после усиления вновь подается на модулятор, и в схеме устанавливается режим генерации частоты f_y / m.

Делители частоты рассмотренной схемы используются в качестве унифицированных устройств ГО, отличаясь между собой только резонансной частотой контура LC. Регенеративные делители частоты надежно работают при $m \leq 5$. При необходимости в большем коэффициенте деления применяется каскадное включение ДЧ.

16.3.3. Умножители частоты

В качестве умножителей находят применение устройства группового умножения и устройства индивидуального умножения.

Во многих случаях определенную группу несущих частот наиболее удобно формировать на основе гармоник соответственно выбранной управляющей частоты f_y. Для этой цели используется операция группового умножения, которая осуществляется с помощью магнитного генератора гармоник.

Генератор гармоник (ГГ) предназначен для преобразования синусоидального сигнала управляющей частоты f_y в периодическую последовательность остроконечных импульсов такой же частоты (рис.16.6). Спектр такой последова-

тельности содержит большое количество высших гармоник $f_у$. Гармоники, соответствующие необходимым несущим частотам, выделяются полосовыми узкополосными фильтрами ПФ. Таким образом, ГГ в сочетании с полосовыми фильтрами является системой умножителей частоты $f_у$ на коэффициенты n, соответствующие номерам выделенных гармоник.

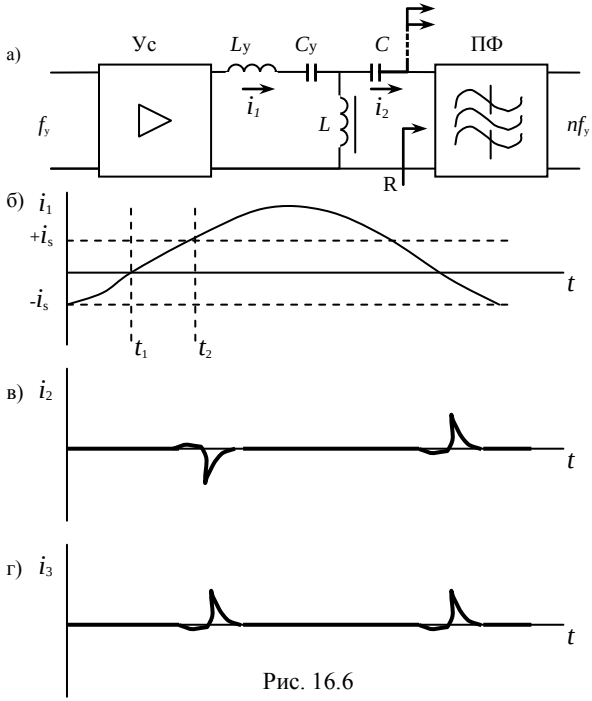

Рис. 16.6

Очевидно, что основным требованием к схеме ГГ является получение последовательности импульсов такой формы, в спектре которой содержатся необходимые гармоники с близкими друг другу значениями амплитуд. Из теории линейных электрических цепей известно, что такому условию удовлетворяют последовательности импульсов экспоненциальной формы, которые получаются при разряде конденсатора на активное сопротивление. а ГГ, изображенная на рис. 16.6,а, работает по принципу периодического разряда конденсатора C на активное сопротивление R. Основными элементами схемы являются нелинейная катушка индуктивности L и конденсатор C. Сердечник катушки имеет прямоугольную петлю гистерезиса, и ее сопротивление зависит от насыщения (намагниченности) сердечника. Процесс заряда (ток i_1) и разряда (ток i_2) конденсатора упрощенно иллюстриру-ют графики рис.16.6, б, в. До момента времени t_1 катушка L насыщена, ее сопротивление очень мало, что эквивалентно короткому замыканию цепи тока i_1, который проходит через катушку. При $t=t_1$ ток i_1 становится меньше тока насыщения $-i_s$, ин-дуктивность катушки и ее сопротивление скачком возрастают во много раз, и ток $i_1 \approx i_2$, проходя через конденсатор C и нагрузку R, заряжает кон-денсатор. В момент времени t_2 ток i_1 становится равным току насыщения $+i_s$, индуктивность катушки и ее сопротивление падают почти до нуля, конденсатор разряжается коротким импульсом тока i_2через катушку L и нагрузку R. В следующий полупериод процесс повторяется при другом направлении тока i_2. Контур $L_уC_у$ настроен на частоту $f_у$

и предназначен для поддержания синусоидальной формы тока i_1 при скачках индуктивности L. Как видно, с выхода ГГ в нагрузку R подается последовательность двухполярных импульсов тока i_2 экспоненциальной формы. Такая последовательность обладает нечетной симметрией, поэтому в ее спектре содержатся только нечетные гармоники частоты $f_у$. Для получения четных гармоник применяется удвоение частоты с помощью подключения параллельно нагрузке R двух-полупериодного выпрямителя. На выходе последнего будет последовательность однополярных импульсов тока i_3, (рис.16.6, г), содержащая только четные гармоники управляющей частоты $f_у$. Таким образом, четные и нечетные гармоники получаются с раздельных выходов генератора гармоник, а интервалы между соседними частотами на каждом выходе оказываются равными $2 f_у$. Это существенно снижает требования к фильтрам, выделяющим нужные гармоники.

Магнитный генератор гармоник прост по устройству, отличается высокой надежностью, обеспечивает при соответствующем расчете такую мощность каждой гармоники, которая достаточна для питания большого числа однотипных модуляторов. Однако из многих десятков гармоник с почти одинаковыми амплитудами используется небольшое их количество, поэтому КПД магнитного генератора гармоник оказывается крайне низким. Кроме того, применение большого числа фильтров не позволяет удовлетворить требования в отношении массогабаритных показателей. В настоящее время наиболее широкое применение получили бесфильтровые методы построения генераторного оборудования, в котором используются индивидуальные устройства умножения частоты.

Основой принципа индивидуального умножения частоты является применение метода фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ) в сочетании с методом деления частоты. Иллюстрация этого принципа приведена на рис. 16.7. Генератор, управляемый напряжением (ГУН), генерирует колебания с частотой, близкой к $n f_у$. Эта частота подается в цепь автоподстройки через делитель частоты на n. Полученная после ДЧ частота подводится к одному из входов фазового детектора ФД. К другому входу ФД подводится высокостабильная управляющая частота $f_у$. На выходе ФД возникают биения с частотой, равной разности подведенных частот. Напряжение огибающей биений Δu, выделенное ФНЧ, воздействует на частоту ГУН через управляющий элемент его схемы (обычно им является варикап) таким образом, что вначале минимизируется разность частот, а затем и разность фаз напряжений, подведенных к входам ФД. Так как ДЧ делит частоту с абсолютной точностью, то и высокостабильная частота ГУН оказывается точно в n раз выше подведенной для умножения частоты $f_у$.

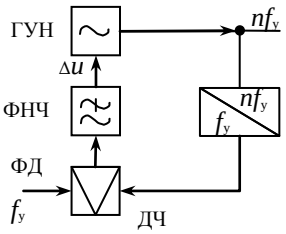

Рис. 16.7

Основное достоинство метода ФАПЧ состоит в том, что ГУН генерирует синусоидальные колебания практически идеальной формы, в них полностью отсутствуют наиболее нежелательные составляющие с частотами $(n\pm1)f_у$, $(n\pm2)f_у$ и т.д. Здесь ДЧ и ФД легко реализуются на цифровых элементах в микросхемном исполнении, а все ГУН генераторного оборудования различаются только частотой настройки (разными элементами колебательных контуров).

Единственный недостаток метода ФАПЧ состоит в том, что при пропадании на входе умножаемой управляющей частоты на выходе ГУН колебания сохраняются, но с нестабильной частотой. Для таких случаев приходится предусматривать в схемах ГО блокировку ГУН (отключение от нагрузки).

16.3.4. Модуляторы и электрические фильтры

Для сложения и вычитания частот синусоидальных колебаний применяются обычные балансные или двойные балансные (кольцевые) модуляторы, рассмотренные в гл.11, в сочетании с фильтрами, выделяющими нужную боковую частоту. Кроме того, фильтры применяются на выходах генераторов гармоник для выделения токов несущих или контрольных частот из совокупности многих частотных составляющих. В зависимости от диапазона выделяемых частот применяются электрические фильтры типа *LC*, электромеханические или кварцевые фильтры. Требования к затуханию любого фильтра в полосах задерживания определяются в результате анализа вредного действия побочных продуктов по методике, изложенной в гл. 12.

При построении бесфильтрового ГО операции сложения и вычитания частот производятся цифровыми преобразователями в сочетании с цифровыми делителями. При сложении двух импульсных последовательностей (рис.16.8, а, б) получается третья, с частотой следования импульсов, равной сумме частот исходных последовательностей, но с неравномерным следованием импульсов (рис.16.8, в). Этот недостаток практически полностью устраняется с помощью многократного деления, что видно на рис.16.8,г,д после деления на 2 и 4.

Вычитание частот проще всего реализуется для случая, когда требуемая частота получается путем подавления каждого m-го импульса в исходной управляющей последовательности $f_у$, а для устранения неравномерности следования импульсов также применяется многократное деление частоты.

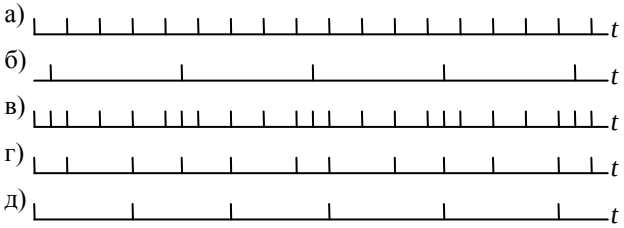

Рис. 16.8

16.3.5. Распределители мощности

Для ослабления взаимных помех, возникающих между модуляторами за счет общего источника несущей частоты, применяются развязывающие устройства, называемые распределителями мощности РМ. Чаще всего РМ выполняются с использованием резисторов, которые включаются между источником тока несущей частоты и каждым модулятором (демодулятором), питаемым от него (рис.16.9). Величина сопротивлений выбирается из условия обеспечения допустимо малого изменения напряжения несущей частоты при различных изменения режима или повреждениях отдельных модуляторов. Более надежную развязку питаемых модуляторов обеспечивают распределители мощности, построенные на дифференциальных системах (см.гл.10).

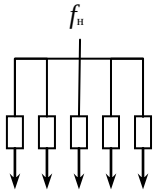

Рис. 16.9

16.4. Применяемые схемы генераторного оборудования

Номиналы несущих частот для преобразовательного оборудования современных АСП и контрольные частоты АРУ групповых трактов стандартизированы, несущие частоты для формирования линейных спектров и контрольные частоты АРУ линейных трактов также в большинстве стандартизированы. Это позволяет в основном стандартизировать и генераторное оборудование – для различных систем передачи единое или имеющее много общих узлов.

На стационарных узлах используется централизованный и децентрализованный принципы построения ГО.

Централизованный принцип построения ГО имеет известные достоинства (требуется относительно небольшой резерв, удобство обслуживания, узкая квалификация обслуживающего персонала), но недостатки более существенны: надежность ГО влияет на надежность СУС в целом, так как при выходе из строя нарушается работа всех систем передачи, а для доставки всех частот к потребителям требуется огромное количество хорошо экранированных соединительных кабелей.

При децентрализации ГО стационарного узла связи включает две части – централизованную и децентрализованную. Централизованная часть включает только задающий генератор и устройства формирования управляющих частот (чаще всего 60, 128, 192, 372 кГц). Децентрализованные части ГО размещаются непосредственно у потребителей (например, в стойках индивидуального преобразования, группового преобразования, линейного оборудования и др.), где на основе управляющей частоты формируются вторичные управляющие частоты (4, 12 кГц и др.), а из них – необходимые несущие и контрольные частоты, а также измерительные, вызывные частоты и частоты телеконтроля. Часто децентрализованные части ГО для повышения надежности действия систем передачи

имеют свои достаточно стабильные ЗГ, которые подключаются в аварийных ситуациях на централизованной части ГО.

Аппаратура полевых систем передачи всегда имеет свое автономное ГО с собственным ЗГ, но также предусмотрена возможность работы от внешней управляющей частоты.

Ниже рассмотрены варианты построения схем ГО стационарных и полевых систем передачи и аппаратуры тонального телеграфирования.

16.4.1. Фильтровой вариант ГО

ГО такого типа применяется в унифицированных стойках (СУГО) для централизованного обеспечения работы на стационарных узлах связи систем передачи К-60П, К-300, К-1920, К-3600 и др., а также в аппаратуре полевых систем передачи комплекса “Топаз” (П-300, П-301, П-302, П-303).

На рис. 16.10 для примера приведена упрощенная структурная схема унифицированного ГО, применяемого для систем передачи К-60П. На этой схеме высокостабильный кварцевый термостатированный ЗГ генерирует сигнал частоты f_0 = 128 кГц, который делится до значения управляющей частоты f_{y1} = 4 кГц. С промежуточного каскада делителя снимается вторая управляющая частота f_{y2} = 12 кГц. Эти управляющие частоты подаются на входы генераторов гармоник ГГ-4 и ГГ-12. Четные и нечетные выходы ГГ-4 используются для выделения с помощью узкополосных полосовых фильтров ПФ индивидуальных несущих частот для формирования из 12 каналов ТЧ первичной группы. Из рисунка видно, что наивысшая частота из этой группы, равная 104 кГц, является 26-й гармоникой управляющей частоты f_{y1} = 4 кГц. Ее помехозащищенность, несмотря на большой коэффициент умножения (n = 26), является еще достаточно высокой за счет высокоизбирательных полосовых фильтров на кварцевых резонаторах. Фильтры обеспечивают необходимое подавление сопутствующих паразитных составляющих, ближайшие из которых, имеющие сравнимый с выделяемым сигналом уровень, благодаря разделению четных и нечетных гармоник схемой ГГ-4, удалены по частоте на расстояние $\pm 2f_y$ = 8 кГц. Более высокие частоты получать от ГГ-4 нерационально. Во-первых, уровень этих сигналов на выходе ГГ относительно мал из-за убывания амплитуд гармоник с увеличением их номера. Во-вторых, высокие коэффициенты умножения n снижают помехозащищенность выделяемых сигналов, что вызывает значительные трудности при создании фильтров для их выделения. Поэтому более высокие несущие частоты получаются в данной схеме на основе управляющей частоты f_{y2}=12 кГц с помощью генератора гармоник ГГ-12: одновременно с сигналами групповых несущих частот из выходного сигнала этого генератора гармоник выделяется самая высокая индивидуальная несущая частота 108 кГц.

Линейные контрольные частоты (ЛКЧ) выделяются из выходного сигнала ГГ-4, причем, для получения частоты 248 кГц применяется умножение на 2 частоты 124 кГц. Для получения сигналов контрольных частот первичных групп

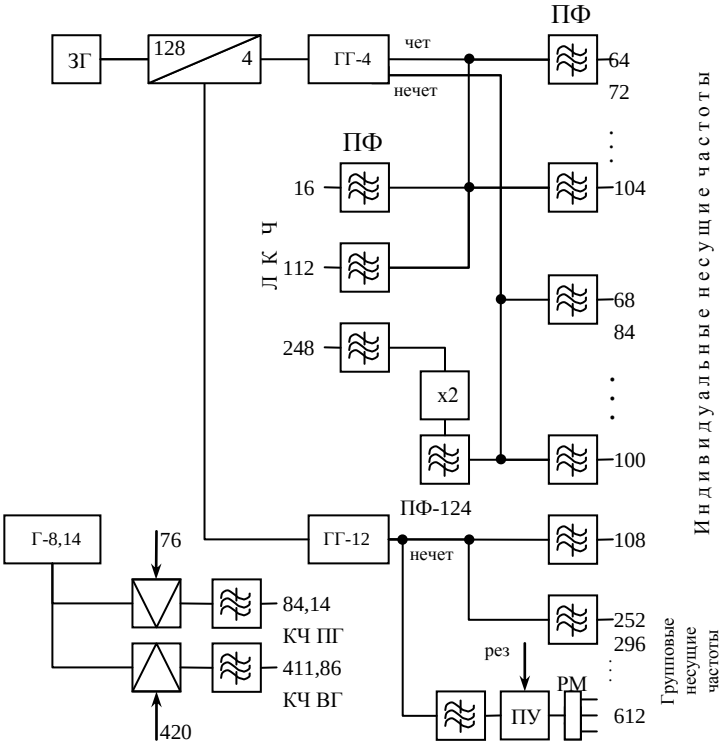

Рис. 16.10

84,14 кГц и вторичных групп 411,86 кГц, не кратных 4 кГц, используется способ сложения и вычитания сигналов дополнительного генератора Г-8,14 кГц и соответствующих гармоник ГГ-4 и ГГ-12 с помощью модуляторов. Результаты сложения и вычитания выделяются соответствующими фильтрами. Поскольку требования на относительную нестабильность контрольных частот ниже, чем на нестабильность несущих, генератор Г-8,14 оказывается значительно проще и схемно, и конструктивно, чем основной ЗГ.

Сигналы всех частот с выхода ГО подаются к потребителям через развязывающие устройства – распределители мощности (РМ).

Обычно централизованное ГО обеспечивает работу преобразователей спектров большого числа каналов ТЧ (на крупных СУС несколько сотен и даже тысяч). Это предъявляет к ГО весьма высокие требования по надежности, которые удается удовлетворить путем применения, как правило, 100-процентного горячего резервирования и строгого соблюдения правил профилактического технического обслуживания. Так, на унифицированных стойках генераторного оборудования (СУГО) размещено два идентичных комплекта ГО (основной и резервный), а выходы каждого номинала частоты от основного и резервного ГО подключаются к переключающим устройствам, осуществляющим автоматиче-

ский перевод нагрузки (через распределитель мощности) на резервный источник в случае изменения выходных параметров или отказа основного. Переключающее устройство ПУ и распределитель мощности РМ показаны на рисунке только для частоты 612 кГц.

16.4.2. Бесфильтровой вариант ГО

Бесфильтровое ГО является аналого-цифровым. В нем большое число устройств построено на цифровых микросхемах, но имеются отдельные устройства на аналоговых элементах. Такие схемы ГО применяются в современных ста-

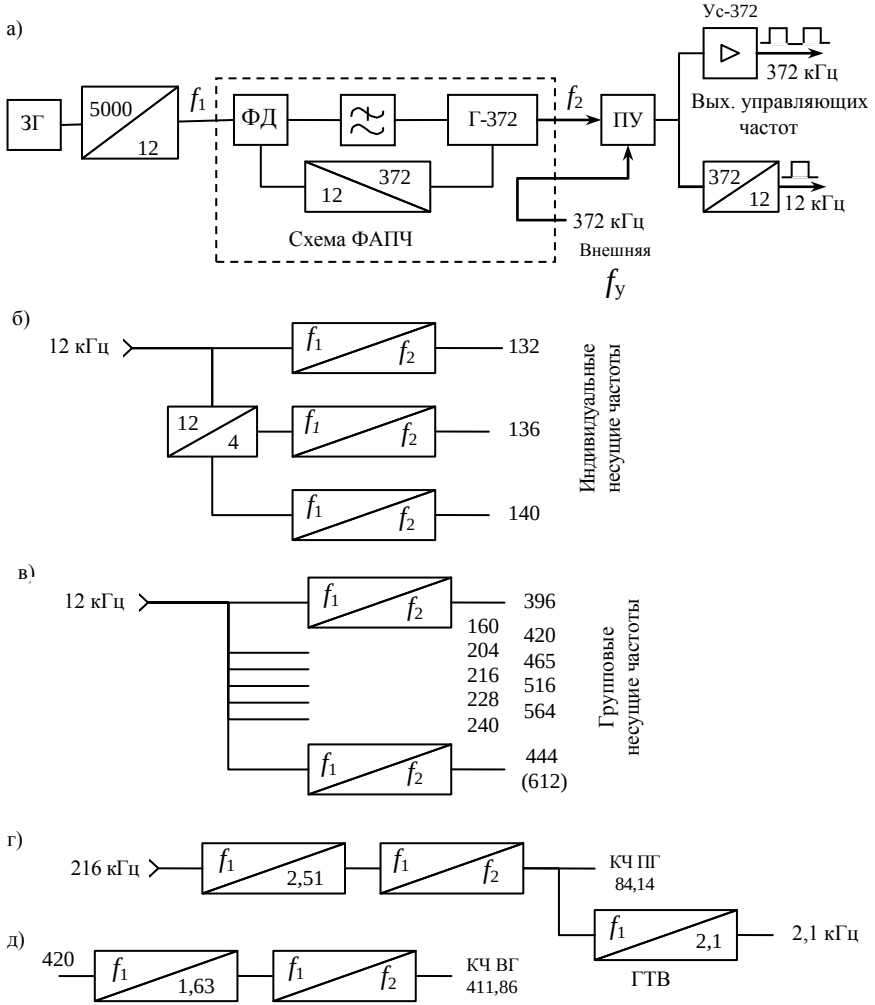

Рис. 16.11

ционарных АСП, например, П-306 (“Цех”) и в аппаратуре полевых систем передачи комплекса “Азур” (П-330-1, 3, 6, 12, 24, 60). На рис. 16.11 приведена сокращенная схема генераторного оборудования оконечной станции П- 330-60.

Задающий генератор может быть цифровой или аналоговый, но с выходным цифровым сигналом. В данной схеме ЗГ выходная импульсная последовательность имеет частоту 5 МГц. Далее она делится цифровым делителем до частоты $f_{у1}$ =12 кГц, которая подается в качестве управляющей высокостабильной частоты на схему ФАПЧ. Управляющая частота $f_{у2}$ = 372 кГц с выхода ГУН (Г-372) ФАПЧ через переключающее устройство ПУ и усилитель УС-372 выводится на разъем для подачи к ГО других систем передачи, а с помощью схемы ФАПЧ 372/12 формирует высокостабильную управляющую частоту $f_{у3}$ = 12 кГц (рис.16.11,а). На основе $f_{у3}$ формируются аналогичными ФАПЧ групповые несущие частоты (рис.16.11,в), а с применением дополнительных делителей с разным коэффициентом деления – индивидуальные несущие частоты, линейные контрольные частоты, контрольные частоты первичных и вторичных групп (рис.16.11,б,г,д). ГО аппаратуры П-330-60, кроме того, формирует аналогично частоты, необходимые для работы с каналами ТЧ и групповыми актами: изме рительные частоты ВГ (315, 420, 549 кГц), ПГ (62, 82, 106 кГц), ПРГ(12,4; 18; 23,3 кГц), каналов ТЧ (0,4; 0,8; 3,2 кГц) – на схеме эти устройства не показаны, а показано формирование тонального вызова 2,1 кГц (ГТВ).

Надежность действия ГО увеличивается наличием внешнего источника управляющей частоты, подведенного к переключающему устройству ПУ. При выходе из строя ЗГ происходит автоматическое переключение на питание ГО от внешней управляющей частоты.

16.4.3. Цифровой вариант ГО

Полностью цифровое генераторное оборудование применяется в аппаратуре цифровых и волоконно-оптических систем передачи и в современной аппаратуре тонального телеграфирования (ТТ-144, П-327). Сокращенный вариант схемы ГО аппаратуры П-327-12 приведен на рис.16.12. Для работы аппаратуры в основном режиме (работа с однотипной аппаратурой) необходимы следующие основные частоты: кратные базовые характеристические частоты 503,04 и 518,4 кГц; 12 несущих частот для индивидуальных преобразователей каналов ТТ (4,47; 4,71, …,7,11 кГц); опорная частота 2748,7 кГц для работы частотных детекторов каналов ТТ; опорная частота 983,04 кГц для работы частотного детектора компенсатора преобладаний и др. ГО содержит два ЗГ, собранных по схеме рис.16.3. ЗГ-2 (f_{02} = 2748,7 кГц) обеспечивает работу детекторов частоты всех каналов ТТ. На основе частоты ЗГ-1 (f_{01} = 1956,08кГц) формируются опорная частота 985,04 кГц для ДЧ компенсатора преобладаний КП и все остальные частоты, требуемые для работы аппаратуры. Вначале путем делителя на триггерах Т1…Т9 получаются базовые опорные частоты (ОЧ), сдвинутые по фазе. Далее с помощью сумматоров, на которые подаются разные комбинации последова-

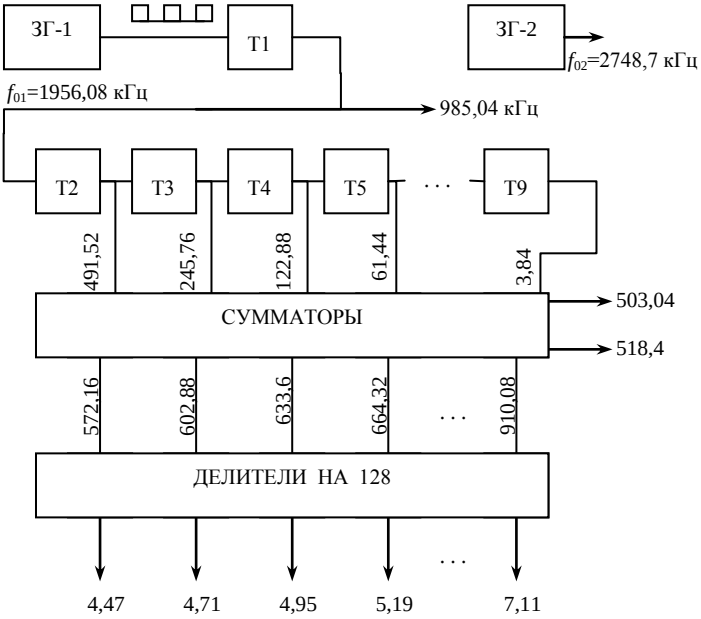

Рис. 16.12

тельностей опорных часто, формируются двенадцать (по числу каналов ТТ) последовательностей кратных линейных несущих частот для индивидуальных преобразователей и две кратные базовые характеристические частоты для работы частотных модуляторов каналов ТТ. Так как на выходе сумматоров будут неравномерные последовательности импульсов, то для приближения их к равномерным последовательностям применяются делители с многократным делением. После деления на 128 получаются последовательности индивидуальных несущих частот. Кратные базовые характеристические частоты также делятся на 128 в частотных модуляторах.