

Л.А. В а р ж и ц к и й

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ  
 СИНХРОННОГО НАКОПИТЕЛЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ  
 ДЛЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ АВИАЦИОННЫХ ГТД

Эффективность систем эксплуатации авиационных ГТД по техническому состоянию в значительной мере зависит от совершенства методов и средств технической диагностики. Важным этапом решения задач диагностики является разработка методов экспериментального определения диагностических параметров и признаков. Так, при решении задач виброакустической диагностики возникает необходимость выделения полезного сигнала из его аддитивной смеси с шумом. Одним из методов выделения сигнала с известным периодом является синхронное накопление, обеспечивающее увеличение отношения сигнал/шум.

Синхронное накопление виброакустического сигнала способствует снижению влияния флуктуаций частоты вращения ротора двигателя на оценку интенсивности спектральных составляющих, частоты которых кратны частоте вращения ротора. Для этого спектральному анализу подвергается не исходный процесс, а результат его синхронного с частотой вращения ротора накопления (1).

Собственно синхронное накопление заключается в выполнении ряда операций над кодами, соответствующими мгновенным значениям накапливаемого процесса. Эти операции, включая преобразование процесса в АЦП, должны быть завершены за время, равное одному периоду дискретизации  $T_{кв}$ . Поэтому накопитель должен обладать достаточным быстродействием  $T_H$ , связанным с периодом дискретизации и временем преобразования в АЦП  $T_{пр}$  следующим соотношением:

$$T_{пр} + T_H \leq T_{кв} \quad (1)$$

Совмещение во времени операций по обработке текущего отсчета в АЦП и предыдущего отсчета в накопителе облегчает выполнение условия (1). Для этого необходимо запомнить результат преобразования текущего отсчета в буферном регистре накопителя (БРН). В этом случае условие (1) примет следующий вид:

$$T_{пр} + T_{зап} \leq T_{кв}, \quad T_H \leq T_{кв}, \quad (2)$$

где  $T_{3ап}$  - время установления кода в регистре БРН. Условие (2) позволяет определить требуемое быстродействие накопителя  $T_H$  и буферного регистра  $T_{3ап}$  исходя из заданных периода дискретизации  $T_{кв}$  и времени преобразования АЦП  $T_{пр}$ .

Другой характеристикой накопителя, определяющей его эффективность, является максимальное число накоплений  $N$ , выполняемых без переполнения разрядной сетки сумматора. Известно (2), что число накоплений  $N$  связано с увеличением отношения сигнал / шум  $R$  следующим соотношением:

$$R = \sqrt{N}. \quad (3)$$

Следовательно, требование по величине коэффициента  $R$  может быть удовлетворено выбором соответствующей длины разрядной сетки накопителя, позволяющей выполнить  $N$  накоплений без ее переполнения. Искомое число разрядов  $n$ , дополняющих разрядную сетку АЦП, связано с числом накоплений  $N$  известным соотношением

$$n = \log_2 N. \quad (4)$$

Полная длина разрядного слова накопителя  $n_H$  с учетом соотношения (3) составит

$$n_H = n_{АЦП} + 2 \log_2 R, \quad (5)$$

где  $n_{АЦП}$  - число разрядов АЦП.

К основным характеристикам синхронного накопителя относится также число каналов  $m$ , определяющее максимальное число отсчетов сигнала, приходящихся на один период вращения ротора двигателя. Так как это число ( $m$ ) зависит от соотношения частот дискретизации и частоты вращения ротора, то оно может быть определено из отношения

$$m \geq \frac{F_{кв}}{F_p},$$

где  $F_{кв}$  - частота дискретизации сигнала;  
 $F_p$  - частота вращения ротора.

Очевидно, что заданное число каналов обеспечивается соответствующим объемом оперативной памяти накопителя, т.е. число ячеек памяти должно быть не менее заданного числа каналов. Так как синхронное накопление проводится с целью выделения гармоник частоты вращения р-

тора (с кратностью от 1 до  $i$ ), то

$$m = \frac{F_{KB}}{F_p} = \frac{i \rho F_p}{F_p} = i \rho, \quad (6)$$

где  $F_{KB} = \rho F_B$  - частота дискретизации;

$F_B = i F_p$  - частота  $i$ -й гармоники частоты вращения;

$\rho$  - коэффициент, выбираемый в соответствии с теоремой Котельникова.

Из условия (6) следует, что число каналов  $m$  в  $\rho$  раз больше кратности  $i$  высшей выделяемой гармоники частоты вращения ротора. Для сокращения требуемого объема памяти необходимо уменьшать величину  $\rho$  (при  $F_B = const$ ), для чего необходимо соответствующее увеличение затухания в полосе задержания фильтра нижних частот, используемого при дискретизации исходного процесса (3).

Таким образом, условия (2), (5) и (6) позволяют по заданным величинам  $F_B$ ,  $\rho$ ,  $i$ ,  $R$  определить требуемое быстродействие накопителя  $T_H$ , число разрядов накопителя  $n_H$  и объем оперативной памяти накопителя  $m$ . При этом должны быть известны быстродействие АЦП  $T_{AP}$  и длина разрядной сетки  $n_{АП}$  предполагаемого АЦП.

В качестве примера рассмотрим реализации синхронного накопителя, предназначенного для обработки виброакустических процессов в диапазоне частот до 20 кГц.

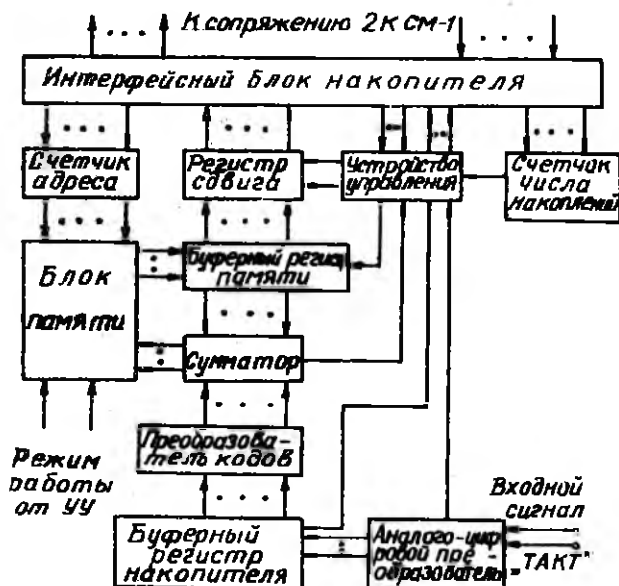
Требования, предъявляемые к характеристикам накопителя, определим для следующих исходных данных:

верхняя частота диапазона  $F_B = 20$  кГц; увеличение отношения сигнал/шум  $R = 40$  дБ; максимальная кратность анализируемой гармоники частоты вращения ротора  $i = 400$ ; коэффициент  $\rho = 2,5$ ; число разрядов АЦП  $n_{АП} = 10$ ; быстродействие АЦП  $T_{AP} = 10^{-5}$  с.

В соответствии с условиями (2), (5) и (6) исходные характеристики накопителя будут следующие:

быстродействие накопителя  $T_H = 2 \cdot 10^{-5}$  с; время установления кода в БРН  $T_{30п} \leq 10^{-5}$  с; длина разрядного слова накопителя 3 байта; число каналов  $m = 1000$ .

Рассмотрим функциональную схему накопителя (рис.1), предназначенного для работы в составе автоматизированной системы цифровой обработки виброакустических сигналов на базе ЭВМ СМ-1. Накопитель работает следующим образом. ЭВМ через сопряжение 2К и интерфейсный



Р и с. 1. Функциональная схема накопителя

Блок задает число накоплений и число используемых каналов, устанавливая счетчик числа накоплений и счетчик адреса в соответствующие состояния, и инициирует через устройство управления начало процесса накопления. В момент окончания преобразования очередного отсчета сигнала АЦП запускает устройство управления на обработку данного отсчета. Выходной код АЦП запоминается в регистре БРН. Преобразование следующего отсчета в АЦП и предыдущего в накопителе может теперь происходить одновременно. Код АЦП преобразуется в дополнительный в преобразователе кодов и поступает на один из входов сумматора. На другой вход сумматора через буферный регистр памяти поступает код результата сложения по этому же каналу, полученный на предыдущем цикле накопления. Результат сложения с выхода сумматора поступает на блок памяти, который после приема результата переходит в режим хранения информации. Устройство управления увеличивает содержание счетчика адреса, который выбирает следующую ячейку блока памяти. Процесс накопления по всем каналам продолжается до тех пор, пока счетчик числа накоплений не сформирует команду о завершении накопления. Уст-

ройство управления через интерфейсный блок формирует сигнал "готов", в ответ на который ЭВМ переводит накопитель в режим выдачи результатов накопления через сдвиговый регистр и интерфейсный блок на сопряжение 2К. ЭВМ обрабатывает полученный массив данных и передает результат на устройство внешней памяти.

Макетирование и испытание основных узлов накопителя (сумматор, блок памяти, преобразователь кода АЦД в дополнительный, устройство управления) подтвердили возможность реализации синхронного накопителя на интегральных схемах серий К155 и К565, обладающего следующими техническими характеристиками:

верхняя частота диапазона  $F_B$  с АЦД типа Ф4222 38 кГц (совместно с разработанным блоком аналоговой памяти), максимальная - 80 кГц; диапазон чисел накопления  $N \leq 16384$ ; число каналов  $m \leq 1024$ ; длина разрядного слова 3 байта + 1 разряд переполнения; объем памяти 1К 24 разрядных слов; длительность накапливаемой реализации  $T_p = 5,5$  мин при  $F_B = 20$  кГц.

Рассмотренный синхронный накопитель предназначен для совместной работы с системой цифровой обработки виброакустических сигналов на базе ЭВМ СМ-1.

#### Л и т е р а т у р а

1. D. Bartschdozff, W. Hensle, B. Stühlen. *Geräusch-analyse zur Schaden frühzeitigen an stationären Turbomaschinen als Problem der Mustererkennung* *Technisches Messen atm*, 1977, Н.5, 181-189.

2. Мако А. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. В 2-х т. Мер. с фр. - М.: Мир, 1983. Т.2. - 256 с.

3. Варжицкий А.А., Камынин Н.А., Сидоренко М.К. Система автоматизированной обработки и распознавания виброакустических сигналов на базе ЭВМ М-6000. - Куйбышев, 1980. - 19 с. - Рукопись представлена Куйбышев. авиац. ин-том. Деп. в ГОСИНТИ 15 мая 1980, № 77-80.