

угла β . Размер линейного участка больше, и крутизна не зависит от координат фазового объекта. Устройство позволяет получать Гильберт-образы от функции, описывающей форму волнового фронта. Экспериментальные результаты, полученные на действующем макете устройства, подтверждают работоспособность устройства.

В заключение автор выражает свою признательность канд. техн. наук В. А. Федорову за помощь и внимание, проявленные при выполнении данной работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arbutov V., Fedorov V. Optical realization of a Foucault-Hilbert transform.— In: Optical Information Processing. N. Y.—L., Plenum Press, 1975.
2. Belvaux Y., Vareille I. Visualisation d'objets de phase par transformation de Hilbert.— "Nouv. Rev. d'Opt. Appl.", 1971, N 3, p. 149.
3. Арбузов В. А., Федоров В. А. Оптическая реализация изотропного преобразования Гильберта.— «Автометрия», 1975, № 5, с. 27—37.
4. Арбузов В. А., Полещук А. Г. Фотоэлектрический теневой прибор.— Авт. свид-во, № 510684, Б. И., 1976, № 14.
5. Шерклиф У. Поляризованный свет. М., «Мир», 1965.

Поступила в редакцию 22 ноября 1976 г.

УДК 532.547.7 : 621.376.33

**В. Д. СТАРИК, Л. А. СУСЛЕННИКОВ, В. В. ТРЫНИН,
В. М. ФЕДОРОВ**
(Москва)

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ СТРОБОСКОПИЧЕСКИЙ ЧМ ДЕМОДУЛЯТОР ДЛЯ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА В ЛДИС

Информация, получаемая с помощью лазерных доплеровских измерителей скорости (ЛДИС) при исследовании потоков, скорость которых изменяется по некоторому периодическому закону, содержится в широкополосном частотно-модулированном сигнале, обладающем весьма глубокой хаотической амплитудной и фазовой модуляциями, а также высоким уровнем шумов.

Обработка такого сигнала вызывает значительные трудности и не всегда возможна даже при использовании сложных, специально созданных систем слежения за доплеровской частотой [1].

В связи с этим представляет интерес система обработки доплеровского сигнала (широкополосный стробоскопический ЧМ демодулятор), предложенная в работе [2] и предназначенная, главным образом для изучения периодических процессов. К ее достоинствам следует отнести возможность изучения высокочастотных процессов с большими амплитудами пульсаций, хорошие шумоподавляющие свойства и возможность реализации на базе стандартной радиоэлектронной аппаратуры.

В этой же работе было проведено исследование данной системы на имитаторах с непрерывным сигналом постоянной амплитуды, а в [3] — на реальном потоке, но при малых (≤ 10 м/с) значениях скорости и при низких (< 100 Гц) частотах пульсаций.

В настоящей работе схема стробоскопического ЧМ демодулятора (рис. 1) была собрана на базе спектроанализатора С4-25 8, который

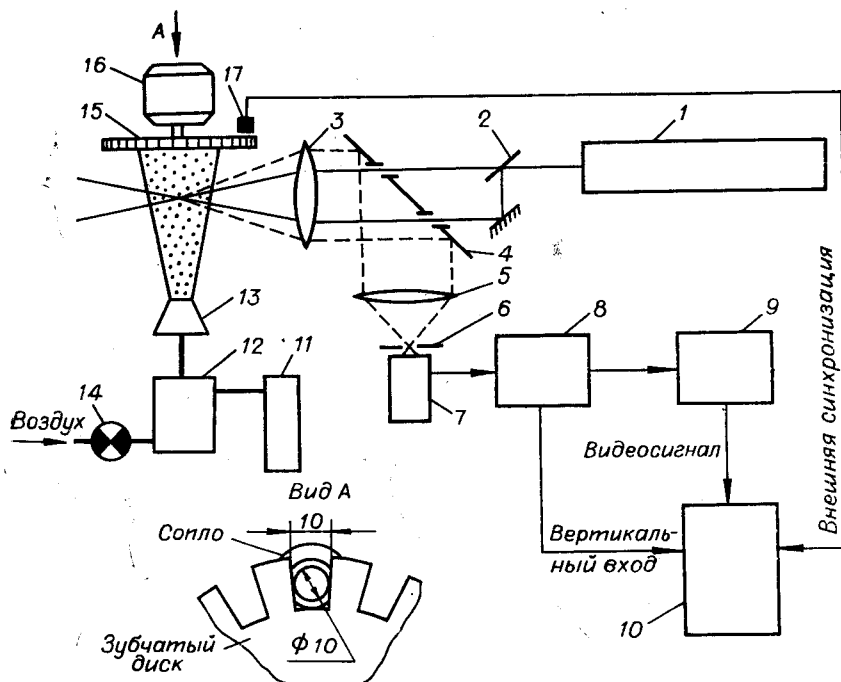


Рис. 1.

использовался в качестве перестраиваемого по частоте фильтра, и осциллографа С1-49 10. Канал вертикального отклонения осциллографа С1-16 9 выполнял роль широкополосного усилителя, который увеличивал амплитуду видеосигнала перед входом в модулятор яркости осциллографа С1-49 до 30 В.

Предварительное исследование схемы, проведенное с помощью специально созданного электронного имитатора (представляющего собой генератор качающейся частоты), показало ее работоспособность в диапазоне частот модуляции от 0,1 до 10 кГц при изменении доплеровской частоты от 5 до 15 МГц как при непрерывном, так и прерывистом (амплитудно-модулированном) сигнале.

Для более полного выяснения возможностей стробоскопического ЧМ демодулятора при работе с реальным доплеровским сигналом была создана установка, схема которой приведена на рис. 1.

Луч света, генерируемый арговым лазером 1, делителем 2 расщеплялся на два пучка примерно одинаковой интенсивности, которые затем линзой 3 фокусировались в измерительном объеме. Рассеянный пролетающими через измерительный объем частицами свет собирался той же линзой 3 и с помощью зеркала 4 и линзы 5 направлялся на фотоэлектронный умножитель 7, перед которым была установлена точечная диафрагма 6. Дальнейшая обработка сигнала с фотоэлектронного умножителя производилась ЧМ демодулятором.

Максимальная скорость на начальном участке свободной струи, истекающей из сопла 13, достигала 200 м/с. Выбор режима определялся положением крана 14. Периодические пульсации потока с частотой до 1000 Гц создавались с помощью зубчатого диска 15, вращаемого электромотором 16. Диск был расположен на расстоянии 15 мм от среза сопла.

Оптическая система настраивалась таким образом, чтобы центр измерительного объема лежал на оси струи в 4 мм от пло-

скости диска. В смесителе 12 для получения «уверенного» доплеровского сигнала производилось засеивание потока каплями масла, получаемыми с помощью генератора аэрозоля 11.

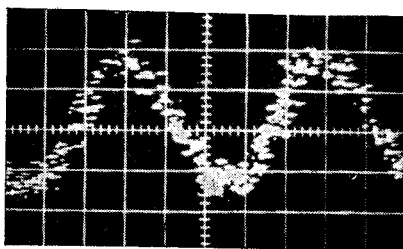


Рис. 2.

Удовлетворительное восстановление модулирующей функции было получено на всех режимах. Снимок с экрана осциллографа при максимальной скорости потока ≈ 200 м/с и частоте пульсаций, равной 1000 Гц, приведен на рис. 2.

Для сравнения в диапазоне скоростей от 30 до 75 м/с измерения пульсаций скорости проводились также с помощью термоанемометра. Характерные снимки с экрана С1-49 при измерениях с помощью ЛДИС и термоанемометра представлены на рис. 3, а, б.

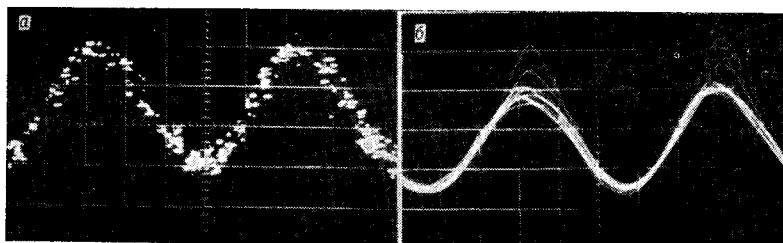


Рис. 3.

Сравнение снимков а и б показывает, что формы кривых, полученных двумя различными способами, достаточно близки.

Для количественного сравнения полученных результатов была проведена их обработка во всех исследованных скоростных, а также в ряде частотных режимов.

На рис. 4 в качестве примера показан один период процесса в относительных координатах при частоте 1000 Гц и максимальной скорости на срезе сопла 75 м/с (\bar{V} — безразмерная скорость (отношение мгновенной скорости потока к максимальной скорости на срезе сопла); \bar{T} — безразмерное время (отношение текущей временной координаты к периоду процесса)).

Анализ полученных результатов показал, что во всем исследованном диапазоне раз-

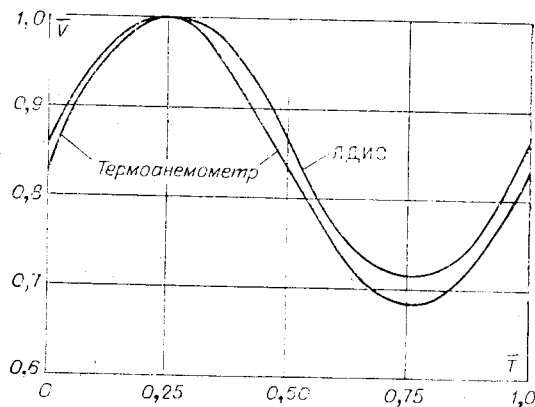


Рис. 4.

личие в величинах скоростей, полученных с помощью ЛДИС и термоанемометра, не превышает десять — пятнадцать процентов, что объясняется, по-видимому, недостаточной высокой точностью термоанемометра и погрешностью осциллографа.

Одной из важных областей применения широкополосного стробоскопического ЧМ демодулятора является исследование полей скоростей в межлопаточных каналах вращающихся венцов турбомашин. В работах [4, 5] для решения этой задачи с помощью ЛДИС был применен обычный метод стробоскопирования, позволяющий проводить последовательные измерения в одной и той же точке межлопаточного канала. Этот метод требует применения сложной обрабатывающей аппаратуры и специальной системы временной задержки, позволяющей перемещать точку измерения по шагу.

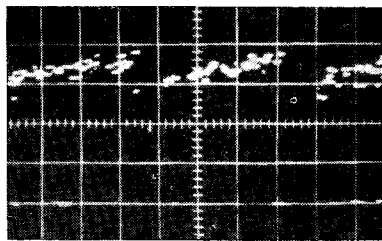


Рис. 5.

Стробоскопический ЧМ демодулятор лишен этих недостатков и дает возможность получать на экране осциллографа распределение скорости по окружности в одном или в нескольких межлопаточных каналах за одно измерение.

В качестве примера на рис. 5 приведены поля скоростей в трех межлопаточных каналах рабочего колеса осевого компрессора, полученные с помощью ЛДИС, использующего дифференциальную схему с обратным рассеянием и ЧМ демодулятор в качестве обрабатывающего устройства. Измерение проводилось вблизи передней кромки лопаток на середине их высоты при окружной скорости 40 м/с.

Полученные результаты свидетельствуют о работоспособности созданного на базе стандартной отечественной аппаратуры широкополосного стробоскопического ЧМ демодулятора, о возможности дальнейшего расширения его скоростного и частотного диапазонов и пригодности для изучения течения во вращающихся венцах турбомашин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Buchhave P. Edge-tone oscillations in air measured with laser anemometer.— "DISA Information", 1971, N 12, p. 25—31.
2. Iten P. D., Dändliker R. A sampling FM wide-band demodulator useful for laser doppler velocimeters.— "Proc. of the IEEE", 1972, vol. 60, N 12, p. 1470—1475.
3. Sullivan J. P., Ezekiel S. A two-component laser doppler velocimeter for periodic flow fields.— "J. of Phys. E. Sci. Instrum.", 1974, vol. 7, N 4, p. 272—274.
4. Уислер, Мосси. Исследование полей течения в роторе компрессора при помощи лазерного измерителя скорости.— «Труды американского общества инженеров-механиков. Энергетические машины и установки», 1973, т. 95, № 2, с. 27—33.
5. Dunker R., Schodl R., Weyer H. Fortschritte in der Turbomaschinenforschung durch ein neues optisches Meßverfahren für Strömungsvektoren.— "Zeitschrift für Flugwissenschaften", 1976, N. 1, S. 17—25.

Поступила в редакцию 16 февраля 1977 г.