

6  
А-24  
В  
14/11/64

ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОГО КОМИТЕТА ПРИБОРОСТРОЕНИЯ,  
СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
ПРИ ГОСПЛАНЕ СССР И АКАДЕМИИ НАУК СССР

---

*На правах рукописи*

ШАДРИН В. Н.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И  
ПОСТРОЕНИЕ ФАЗОВЫХ СИСТЕМ  
ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ  
С МАГНИТНОЙ ЗАПИСЬЮ**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель  
ст. научн. сотр.  
Т. Н. БУЛГАКОВ А. А.

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из направлений автоматизации промышленности является программное управление. По программе могут быть произведены операции машиностроительного, радиотехнического, химического и других производств.

Комплекс устройств, осуществляющих программное управление, может быть разделен на ряд узлов, предназначенных для выполнения отдельных задач. Этот комплекс в общем случае состоит из вычислительной машины, преобразователя-интерполятора, стенда программного управления, силового привода и управляемого объекта.

В некоторых случаях вычислительная машина объединяется с интерполятором, иногда используются ручные вычислительные машины, в ряде устройств преобразователь-интерполятор встраивается в стенд программного управления.

Наибольшее распространение программное управление в настоящее время находит в металлообрабатывающей промышленности.

В качестве элемента памяти системы программного управления, как правило, используют магнитную ленту.

В зависимости от способа магнитной записи и устройств, преобразующих программу в сигналы управления, системы программного управления можно разделить на импульсные и фазовые. К импульсным системам можно отнести также импульсно-фазовые и шаговые. К фазовым относятся системы с частотным разделением каналов и фазо-импульсные.

К сегодняшнему периоду известен ряд работ, посвященных программному управлению.

В основном, опубликованные работы посвящены исследованию программирования и интерполирования, динамики следящих систем, либо охватывают вопросы программного управления в целом. По фазовым системам программного управления известна работа, посвященная динамической точности.

Значительный интерес представляет исследование точности работы элементов преобразования программы и усиления сигналов в фазовых системах. Еще большее значение точность передачи программы и точность работы элементов фазовых

систем принимают в связи с возможностью улучшения динамических свойств фазовых систем методами коррекции.

Настоящая диссертация посвящена исследованию элементов фазовых систем. В диссертации исследованы в общем виде фазовые и амплитудные искажения, возникающие в основных элементах фазовых систем, к которым относятся магнитная лента, магнитные головки, устройства фазовой модуляции и электрические фильтры. В диссертации дано исследование помехоустойчивости фазовых систем. Анализ искажений доведен до формул, позволяющих вести инженерный расчет.

Выводы, полученные при теоретическом исследовании, сопоставлены с экспериментальными результатами, показанными на промышленных образцах фазовых систем, разработанных и изготовленных при непосредственном участии автора.

## 1. МАГНИТНАЯ ЛЕНТА

Магнитная лента является основным источником нелинейных и перекрестных искажений сигналов фазовых систем. Вследствие нелинейной зависимости остаточной индукции магнитной ленты от напряженности поля записи остаточный магнитный поток ленты подвергается амплитудным, нелинейным и перекрестным искажениям.

В диссертации проведен математический анализ возникновения амплитудных, нелинейных и перекрестных искажений в магнитной записи, получены общие математические выражения, а также инженерные формулы, пригодные для практического расчета.

Подход к математическому анализу основан на теории М. Камраса и на известном методе аппроксимации кривой остаточного магнитного потока ленты через гиперболический тангенс. В диссертации дано дальнейшее развитие и углубление этого метода в применении к фазовым системам. Этот метод распространен на механизм возникновения перекрестных искажений.

Общее уравнение остаточного магнитного потока ленты получено с применением разложения в ряд Тэйлора.

Из уравнения находятся формулы для анализа амплитудных, нелинейных и перекрестных искажений при симметрии, несимметрии и смещении поля подмагничивания.

Амплитудные искажения возникают при отличии поля подмагничивания от оптимального значения и тем больше, чем меньше поле сигнала записи.

Нелинейные искажения по нечетным гармоникам являются основными в магнитной записи. Как показывает анализ, при некотором уровне подмагничивания в зависимости от поля записи и типа используемой магнитной ленты, нелинейные искажения по нечетным гармоникам отсутствуют (практически,

близки к нулю) и третья гармоника имеет разные знаки по обе стороны этой точки. В диссертации получены формулы, позволяющие проводить анализ нелинейных искажений в общем виде, а также инженерные формулы, пригодные для практического расчета.

Нелинейные искажения по четным гармоникам, как показывает анализ, возникают при несимметрии или при смещении поля подмагничивания и, в большинстве практических случаев, невелики.

Существенное значение для фазовых систем программного управления с частотным разделением каналов имеет явление перекрестной модуляции. Оно возникает при записи сигналов на одну дорожку и характеризуется амплитудной модуляцией сигналов одного канала сигналами других каналов. Так же, как четные гармонические составляющие, перекрестные помехи появляются при несимметрии или смещении поля подмагничивания, но имеют значительно большую величину. Анализ показывает, что уже при малых значениях несимметрии или смещения поля подмагничивания могут возникать такие перекрестные помехи, которые приведут к недопустимым фазовым искажениям.

Теоретический анализ амплитудных, нелинейных и перекрестных искажений проведен в общем виде и получены инженерные формулы, пригодные для практического расчета.

Основные теоретические выводы сопоставлены с экспериментальными результатами и показывают удовлетворительное совпадение.

Приведенные формулы позволяют не только анализировать механизм возникновения искажений в магнитной записи и производить их расчет, но выбрать величину поля записи и режим подмагничивания для соответствующих типов магнитных лент, используемых в фазовых системах программного управления.

## 2. МАГНИТНЫЕ ГОЛОВКИ

Анализ амплитудных и фазовых искажений, обусловленных магнитными головками, основан на известном методе Е. Даниэля и П. Эксона. Согласно этому методу общее уравнение магнитного потока находится путем двойного интегрирования.

В результате можно получить уравнение, позволяющее исследовать амплитудные и фазовые искажения, обуславливаемые щелью магнитной головки.

Для случая несимметричной клиновидной щели в диссертации, наряду с общими выводами, получены практические формулы, пригодные для инженерного расчета.

В диссертации приведены также формулы, позволяющие производить анализ и расчет амплитудных и фазовых искаже-

ний, вносимых трапецеидальной щелью магнитной головки, а также фазовые искажения, обуславливаемые перекосом и смещением щели магнитной головки.

Приведенные в диссертации формулы позволяют определить требования к точности изготовления и точности установки магнитных головок в применении к фазовым системам программного управления.

### 3. УСТРОЙСТВА ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

Устройства фазовой модуляции применяются для преобразования механических перемещений в фазо-модулированные сигналы. Они включают в себя реактивные цепочки, усилители и фазовые датчики. Особый интерес для работы фазовых систем программного управления представляют величина и характер амплитудных и фазовых искажений устройств в режиме фазовой модуляции и при отклонении частоты и амплитуды сигналов от номинальных значений. Анализ точности работы устройств основан на оригинальных зависимостях и доведен до инженерного расчета.

В зависимости от способа включения устройства фазовой модуляции можно разделить на устройства, использующие двухфазное напряжение для питания фазового датчика и устройства с однофазным питанием.

При двухфазном питании реактивная цепочка включается перед фазовым датчиком и на ортогональные обмотки последнего подводится двухфазное напряжение питания.

В устройстве с однофазным питанием напряжение подводится к одной обмотке фазового датчика. Выходное напряжение снимается с реактивной цепочки, подключенной к двум ортогональным обмоткам фазового датчика.

В первой схеме возникают амплитудные и фазовые искажения выходного сигнала при отклонении частоты питающего напряжения от номинального значения, что вызывает неортогональность двухфазного напряжения на реактивной цепочке и от неравенства составляющих двухфазного напряжения.

Во второй схеме амплитудные и фазовые искажения обуславливаются нестабильностью частоты питающего напряжения и вращением ротора фазового датчика.

Детальный математический анализ работы этих схем проводится впервые. В результате аналитического исследования в диссертации получены общие уравнения, описывающие работу устройств в режиме фазовой модуляции при вращении ротора фазового датчика.

Математический анализ доведен до конца и получены инженерные формулы, пригодные для практического расчета точности работы устройств.

Установлено, что вследствие фазовых искажений выходно-

го сигнала в устройстве с однофазным питанием в режиме фазовой модуляции, последнюю схему предпочтительнее использовать в фазовых системах программного управления с небольшой относительной угловой скоростью вращения ротора фазового датчика.

### 4. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ

Полосовые разделительные фильтры применяются в фазовых системах программного управления с частотным разделением каналов. Полосовые фильтры должны обеспечивать необходимое затухание на частотах сигналов соседних каналов (в полосе непрозрачности) и пропускать спектр частот своего канала без существенных фазовых искажений (в полосе прозрачности).

В диссертации проведено исследование характеристик затухания и фазы полосовых шестиэлементных дифференциально-мостиковых фильтров, которые использованы в фазовой системе программного управления с частотным разделением каналов.

Полосовые дифференциально-мостиковые фильтры имеют фазовую характеристику в полосе прозрачности, близкую к прямолинейной, мало искажают пропускаемые сигналы и позволяют строить многоканальную аппаратуру с небольшим количеством элементов.

В диссертации исследовано влияние потерь в индуктивных элементах фильтров при работе на нагрузку с точки зрения сохранения прямолинейности фазовой характеристики и обеспечения необходимого затухания вне полосы прозрачности.

В диссертации приведено общее уравнение, описывающее работу схемы с любым типом фильтра. Это уравнение состоит из суммы слагаемых, первое из которых является собственной постоянной передачи фильтра, второе слагаемое определяет отражение, третье слагаемое—взаимодействие отражений. В общем случае постоянная передачи фильтра с нагрузкой зависит от потерь в собственных элементах фильтра, от наличия несогласованности с входной и выходной нагрузками и от наличия реактивностей в нагрузках.

Рабочая постоянная и характеристическое сопротивление фильтра с потерями определяются известными методами с применением разложения в ряд Тэйлора.

В результате математических преобразований в диссертации получены формулы для расчета рабочей постоянной и характеристического сопротивления шестиэлементного дифференциально-мостикового фильтра с потерями.

В диссертации получены также аналитические уравнения, позволяющие исследовать рабочие постоянные отражения и взаимодействия отражений фильтра, имеющего потери и включенного на несогласованные нагрузки.

Приведенные в диссертации уравнения позволяют произвести расчет затухания и фазы отражения и взаимодействия отражений и определить допустимый уровень потерь в индуктивных элементах фильтра. По уравнениям можно также определить допустимое отклонение коэффициента согласования фильтра с нагрузкой от номинального значения.

В результате теоретических и экспериментальных исследований построены полосовые дифференциально-мостиковые фильтры, удовлетворяющие требованиям фазовых систем программного управления. Фильтры применены в фазовой системе программного управления с частотным разделением каналов и проверены в промышленных условиях.

## 5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОМЕХИ

Электрические помехи в фазовых системах программного управления возникают из-за недостаточного затухания в зоне непрозрачности полосовых разделительных фильтров, из-за взаимовлияния между магнитными головками и дорожками, из-за нелинейности кривой остаточной магнитной индукции ленты. Кроме того, фазовые системы подвержены воздействию флюктуационных помех внутреннего и внешнего происхождения.

Межканальные перекрестные помехи, в основном, представляют собой синусоидальные сигналы с частотой, мало отличающейся от частот других каналов. Фазовые искажения от синусоидальных помех рассчитываются по известным формулам суммы нескольких колебаний.

Воздействие флюктуационных помех на фазовые системы программного управления целесообразно исследовать методами теории потенциальной помехоустойчивости В. А. Котельникова.

В диссертации проведен анализ помехоустойчивости по В. А. Котельникову фазовых систем программного управления с многодорожечной магнитной записью и частотным разделением каналов.

Известный метод анализа помехоустойчивости позволяет учесть влияние числа каналов и коэффициента вторичной амплитудной модуляции.

В результате получены формулы для расчета соотношения шум-сигнал фазовых систем с учетом коэффициентов, характеризующих специфику фазовых систем с многодорожечной магнитной записью и частотным разделением каналов.

При практических величинах коэффициентов помехоустойчивость обеих систем программного управления примерно одинакова.

Соотношение шум-сигнал, определяемое шумами магнитной ленты, будет для многодорожечной магнитной записи лучше,

чем для системы программного управления с частотным разделением каналов, так как в первом случае, в отличие от второго, помехоустойчивость ухудшается как квадратный корень числа каналов.

## 6. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе разработки, изготовления и наладки фазовых систем программного управления проведены экспериментальные исследования работы узлов, определяющих точность фазовых систем. Экспериментальные исследования проведены по искажениям, вносимым магнитной лентой, магнитными головками, лентопротяжным механизмом, устройствами фазовой модуляции, электрическими фильтрами и помехами. Эксперименты подтверждают с удовлетворительным совпадением данные, полученные в результате математического анализа.

Главной характеристикой фазовых систем программного управления является точность воспроизведения. Согласно принятой методике измерения проверяется точность работы устройств фазовой модуляции и демодуляции, воздействие перекрестных межканальных помех, нелинейных искажений и помех от перекрестной модуляции.

Максимальные значения фазовых искажений, вычисленные теоретически для фазовых систем с многодорожечной магнитной записью и частотным разделением каналов с удовлетворительной точностью совпадают с экспериментальными результатами.

Разработанные в результате теоретических и экспериментальных исследований фазовые системы программного управления доведены до состояния опытно-промышленных образцов и проверены в заводских условиях при работе с металлорезающими станками. Опыт эксплуатации фазовых систем показал их высокую надежность, точность и повторяемость при обработке деталей сложного профиля.

Фазовая система с многодорожечной магнитной записью одобрена Государственной межведомственной комиссией Государственного Комитета Совета Министров СССР по автоматизации и машиностроению и удостоена медали на Выставке достижений народного хозяйства СССР.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации проведено теоретическое и экспериментальное исследование элементов, являющихся источниками фазовых и амплитудных искажений сигналов фазовых систем программного управления с магнитной записью.

1. Магнитная лента. Исследованы амплитудные, нелинейные и перекрестные искажения, возникающие при двух способах

многоканальной магнитной записи. Анализ проведен в общем виде и даны также инженерные формулы, пригодные для практического использования.

2. **Магнитные головки.** Проведено теоретическое исследование фазовых и амплитудных искажений, обусловливаемых щелью магнитных головок. Анализ проведен в общем виде и получены также инженерные формулы, пригодные для расчета.

3. **Устройства фазовой модуляции.** Проведено аналитическое исследование точности работы двух схем фазовой модуляции с двухфазным и однофазным питанием фазовых датчиков в режиме фазовой модуляции. Решение дано в общем виде и получены практические результаты.

4. **Электрические фильтры.** Исследованы характеристики затухания и фазы полосовых дифференциально-мостиковых фильтров при наличии потерь в элементах фильтров и несогласованности с нагрузкой. Результаты получены в общем виде и сопровождаются графическими построениями.

5. **Электрические помехи.** Исследованы воздействия межканальных перекрестных помех и помехоустойчивость фазовых систем программного управления по В. А. Котельникову.

6. **Экспериментальные исследования.** Экспериментально исследованы амплитудные, нелинейные и перекрестные искажения, обусловливаемые магнитной лентой, фазовые и амплитудные искажения, определяемые щелью магнитных головок, межканальные помехи между магнитными головками, магнитными дорожками и полосовыми фильтрами, точность работы устройств фазовой модуляции, колебания фазы при воспроизведении сигналов с магнитной ленты, характеристики затухания и фазы полосовых дифференциально-мостиковых фильтров. Исследованы суммарные искажения сигналов фазовых систем программного управления на выходе фазовых индикаторов.

7. **Построение фазовых систем программного управления с магнитной записью.** Разработаны и построены многоканальные магнитные головки для фазовой системы программного управления с многодорожечной магнитной записью. При непосредственном участии автора разработана и построена фазовая система программного управления с многодорожечной магнитной записью, внедренная в промышленность.

Разработана и построена фазовая система программного управления с частотным разделением каналов, проверенная в промышленных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шадрин В. Н., Помехоустойчивость непрерывных систем программного управления с магнитной записью, Автоматика и телемеханика, т. XX, № 8, 1959
2. Шадрин В. Н., Многоканальная магнитная запись программы для непрерывных систем автоматического управления. Автоматическое регулирование и управление, сб. под ред. Я. З. Цыпкина, 1960
3. Шадрин В. Н., Система программного управления с частотным разделением каналов, Автоматическое регулирование и управление, Сб. под ред. Я. З. Цыпкина, 1961.
4. Шадрин В. Н., Фазовое управление от магнитной ленты, Изд-во «Энергия», 1964

Центральная научная  
Библиотека  
Академии наук Кыргызской ССР