

УДК 681.32

АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО МАГНИТНОМУ ПОЛЮ ЗЕМЛИ

Иванов В.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Необходимость контроля параметров орбиты космического аппарата ни у кого не вызывает сомнения. Особенно это важно для малых спутников. Из-за их относительно большой парусности при небольшой массе на их движение заметное влияние оказывает давление солнечного света, а на высотах ниже 500 километров неустойчивые колебания плотности верхней атмосферы. Наземный радиоконтроль орбиты требует сложной аппаратуры с большим и высококвалифицированным персоналом, что резко увеличивает эксплуатационные расходы.

Микропроцессорный геомагнитный вычислитель состоит из трехкоординатного преобразователя величины магнитного поля в напряжение, коммутатора, аналого-цифрового преобразователя и однокристального микроконтроллера.

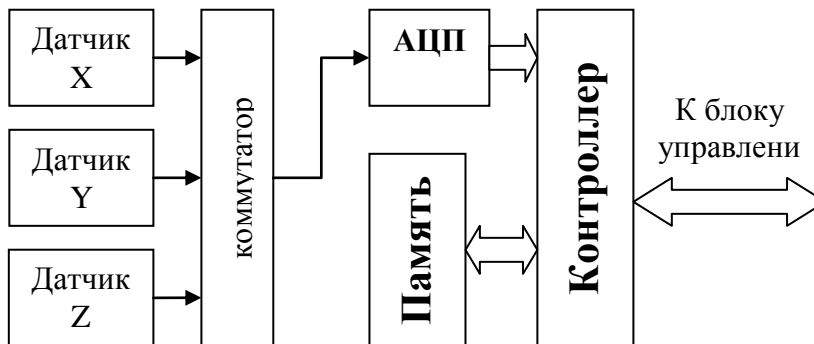


Рисунок 1. Микропроцессорный геомагнитный вычислитель

Использование микроконтроллера с встроенным в него коммутатором и АЦП упрощает устройство. Так как измерение составляющих вектора магнитного поля происходит не одновременно, возникает погрешность. На одно преобразование средний по параметрам АЦП тратится не более 100 микросекунд. Между первым и третьим измерением 200 микросекунд. За это время спутник пролетает 1,6 метра. Изменение величины магнитного поля Земли на таком расстоянии микроскопичны. Гораздо большую погрешность вносит вращение космического аппарата вокруг своей оси. Максимальное изменение одной из составляющих магнитного поля на 0,1% за 200 микросекунд может произойти при скорости вращения 5 радиан в секунду. До этих скоростей с помощью десятиразрядного АЦП невозможно заметить изменений, так как его дискретность преобразования равна 0,1 процента.

Микроконтроллер управляет трехкомпонентным датчиком поля, коммутатором и АЦП, по составляющим вектора поля вычисляет его модуль и записывает в память.

Измерения проводятся через пять секунд. За один виток делается около 1000 отсчётов. За сутки менее двадцати тысяч. Алгоритм вычисления параметров орбиты требует знания величины геомагнитного поля, по крайней мере, за последние звёздные сутки.

Параметры орбиты и время пролёта наземного пункта слежения за этим спутником передаются в его электронный блок управления.

Микропроцессорный геомагнитный вычислитель параметров круговой орбиты использует смещение и наклон оси симметрии магнитного поля Земли относительно земной оси.

В южном полушарии поле магнитного полюса сильнее, поэтому можно отличить восходящий узел орбиты от нисходящего узла. Во времени восходящий угол прямой орбиты расположен после большего максимума. Время прохождения узла t_u вычисляется с использованием времён прохождения большего и меньшего максимума (t_h и t_l): $t_u = (t_h + t_l) / 2$.

Для работы прибора необходимо чтобы спутник не менее суток находился в свободном полёте, то есть информация появляется через сутки после коррекции орбиты. От времени прохождения последнего узла берутся значения геомагнитного поля ровно за одни прошедшие звёздные сутки. По ним вычисляются постоянная составляющая поля, а также амплитуда и фазовый сдвиг его первой гармоники. Период первой гармоники равен звёздным суткам, то есть 23ч 56мин 4с.

Чем больше отношение амплитуды первой гармоники к постоянной составляющей, тем больше наклонение орбиты. Эта связь нелинейная и хорошо описывается простыми зависимостями в диапазоне углов от 20 до 70 градусов. В таком диапазоне наклонений орбит запускается большинство спутников.

Параметры орбиты используются для определения времени начала и окончания сеансов связи и углового положения спутника относительно антенны. То есть достаточно знать высоту орбиты и трассу спутника, которую прочерчивает его проекция на земной поверхности.

Высоту орбиты H до 1000 километров устройство вычисляет по приблизительной формуле:

$$H = 50 * (T - 84,4), \text{ где } T - \text{ период обращения в минутах.}$$

Время между каждым вторым минимумом геомагнитного поля есть период обращения T . Усреднение измеренных периодов за последние сутки повышает на порядок точность измерения.

Отклонение от круговой орбиты приводит к ошибке. Её можно исключить усложнением алгоритма обработки геомагнитной информации. Например, используя при расчётах данные о магнитном поле, измеренном только на одной широте. Усреднение по нескольким широтам повышает точность результата.

Самоопределение космическим аппаратом своей трассы позволяет ему самостоятельно включать и выключать передатчик телеметрической информации при пролёте над станцией слежения, отказавшись от услуг командной радиолинии.

Знание местоположения спутника позволяет использовать вектор магнитного поля Земли в системе ориентации космического аппарата.

Кроме малых любительских спутников вычислитель можно для упрощения отслеживания устанавливать на космических объектах, которые после использования по назначению становятся «космическим мусором». За сутки общее время нахождения в зоне видимости наземного измерительного пункта объекта с высотой орбиты до полутысячи километров около получаса.

Пять минут пролёта вполне хватает, чтобы ненаправленной антенной принять и выделить пакет из двух десятков байтов, даже если весь пролетающий «мусор» будет сбрасывать свои пакеты на одной радиочастоте.

Случайный интервал времени между пакетами сведёт коллизии к минимуму.