

В.Н. ЧИНКОВ, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ"
Ю.А. ГАВРИКОВА, студентка НТУ "ХПИ"

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА С ПРОМЕЖУТОЧНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ НАПРЯЖЕНИЕ-ЧАСТОТА

В статті розглянуто метод вимірювання середньоквадратичного значення амплітудно-модульованного сигналу з проміжним перетворенням напруга-частота. Проаналізовано заводо-захищеність даного методу. Проведено оцінку похибки вимірювання, обумовленої наявністю завод. Показана структурна схема.

In article method of measurement root-mean-square values of the peak-modulated signal with preliminary transformation a voltage-frequency is considered. The noise immunity of the given method is analysed. The estimation of an error of the measurements brought by hindrances is made. The block diagramme is shown.

Амплитудно-модулированные (АМ) сигналы как носители информации чрезвычайно широко используются в различных областях науки и техники, в частности, в радиотехнике, связи, системах управления и во многих специальных радиоэлектронных устройствах.

Одной из основных тенденций развития радиоэлектронных систем, использующих АМ сигналы, является непрерывное совершенствование их качественных показателей. В значительной мере оно достигается за счет повышения требований к параметрам АМ сигналов и снижения уровня искажений, вносимых трактами их формирования, передачи и обработки. Необходимость метрологического обеспечения разработки, производства и эксплуатации радиоэлектронных систем определяет круг задач по измерению параметров АМ сигналов [1]. Одним из важных параметров АМ сигналов является их среднеквадратическое значение (СКЗ). На сегодняшний день известны различные методы измерения данной характеристики, однако они не обеспечивают необходимый уровень помехозащищенности [2].

Целью данной статьи является исследование помехозащищенного метода измерения СКЗ АМ сигналов, основанного на предварительном преобразовании напряжение-частота. Рассмотрим данный метод.

Выражение для АМ сигнала запишем в следующем виде

$$u(t) = u_M(t) \sin \omega t,$$

где $u_M(t)$ – сигнал огибающей или модулирующий сигнал с периодом T_M ;
 T, f – период и частота несущей;

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ – круговая частота несущей, начальная фаза которой без потери общности принята равной нулю.

Модуль АМ сигнала

$$|u(t)| = u_M(t) |\sin \omega t|$$

преобразуем в пропорциональную частоту следования импульсов

$$f(t) = k_f u_M(t) |\sin \omega t|,$$

где k_f – коэффициент преобразования напряжения в частоту

Частоту $f(t)$ проинтегрируем за интервал усреднения, равный половине q -го периода несущей частоты, и получим количество импульсов

$$N_q = \int_{t_q}^{t_q + \frac{T}{2}} f(t) dt = k_f \int_{t_q}^{t_q + \frac{T}{2}} u_M(t) |\sin \omega t| dt.$$

Учитывая, что в q -м полупериоде несущей $u_M(t_q) \equiv U_q$, т.е. имеет строго определенное значение, равное амплитуде несущей, получим

$$N_q = k_f U_q \int_{t_q}^{t_q + \frac{T}{2}} |\sin \omega t| dt = k_f U_q \frac{2}{\omega} = \frac{k_f T}{\pi} U_q, \quad (1)$$

Из выражения (1) находим амплитуду несущей частоты в q -м полупериоде АМ сигнала

$$U_q = \frac{\pi}{k_f T} N_q = \frac{\pi f}{k_f} N_q,$$

Зная амплитуды несущей за период огибающей T_M , определим СКЗ амплитудно-модулированного сигнала

$$U_{AM} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{q=1}^n U_q^2} = \frac{\pi f}{k_f \sqrt{n}} \sqrt{\sum_{q=1}^n N_q^2} = K_{AM} \sqrt{\sum_{q=1}^n N_q^2},$$

где $K_{AM} = \frac{\pi f}{k_f \sqrt{n}}$ – коэффициент пропорциональности;

$n = \frac{2T_M}{T}$ – число отсчетов или кодов мгновенных значений АМ сигнала за период огибающей.

Рассмотренный метод может быть реализован различными структурными схемами, которые будут отличаться набором необходимых функциональных блоков и структурных связей между ними. Один из возможных вариантов упрощенной структурной схемы показан на рис 1.

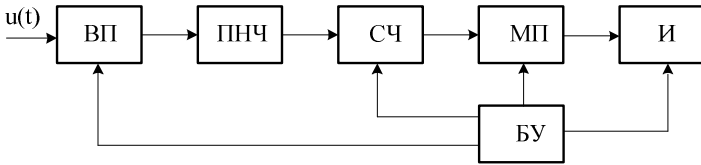


Рис.1 Структурная схема реализации метода измерения СКЗ АМ сигнала с промежуточным преобразованием напряжение-частота

АМ сигнал поступает на вход выпрямителя ВП, где образуется его модуль, который поступает на вход преобразователя напряжения в частоту (ПНЧ). В ПНЧ модуль сигнала $|u(t)|$ преобразуется в пропорциональную частоту следования импульсов, поступающие на вход счетчика СЧ. В данном случае реализуется n тактов интегрирования, в каждом из которых согласно выражению (1) определяется код N_q , пропорциональный амплитуде несущей U_q . В свою очередь, каждое значение кода N_q возводится в микропроцессоре МП в квадрат и суммируется с квадратами предыдущих значений кодов N_q . По окончании n тактов интегрирования из кода суммы $\sum_{q=1}^n N_q^2$ извлекается квадратный корень, а результат домножается на коэффициент K_{AM} , который определяется и запоминается в блоке МП. Результат измерения СКЗ АМ сигнала U_{AM} отображается в блоке индикации И.

Разработанный метод измерения среднеквадратического значения АМ сигнала имеет высокую помехозащищенность. Покажем это.

Представим исследуемый сигнал суммой АМ сигнала и стационарной аддитивной помехи:

$$u(t) = u_M(t) \sin \omega t + \xi(t),$$

где $\xi(t)$ – стационарная аддитивная помеха, присутствующая во входном сигнале $u(t)$.

Тогда в результат измерения величины N_q , определяемый соотношении

$$\text{ем (1), вносится погрешность } \Delta N_q = k_f \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \xi(t) dt.$$

Вычислим дисперсию этой погрешности:

$$\langle (N_q)^2 \rangle = k_f^2 \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \langle \xi(t) \xi(t') \rangle dt dt' = k_f^2 \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \sigma_\xi^2 r(t-t') dt dt' =$$

$$= k_f^2 \sigma_f^2 \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \int r(t-t') dt dt' = k_f^2 \sigma_\xi^2 \frac{T}{2} \int_0^{\frac{T}{2}} r(t) dt \approx k_f^2 \sigma_\xi^2 \frac{T}{2} \tau_\xi$$

Данное выражение представим в виде

$$\langle (N_q)^2 \rangle = k_f^2 \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \int \sigma_\xi^2 r(t-t') dt dt' = k_f^2 \sigma_\xi^2 \int_{t_q}^{t_q + \frac{\pi}{2}} \int r(t-t') dt dt',$$

где $\langle \rangle$ – знак усреднения по ансамблю сигналов помехи $\xi(t)$; σ_ξ^2 – дисперсия помехи; $r(t-t')$ – нормированная корреляционная функция, $r(0) = 1$.

После вычислений получим

$$\langle (N_q)^2 \rangle = k_f^2 \sigma_\xi^2 \frac{T}{2} \int_0^{\frac{T}{2}} \int r(t) dt \approx k_f^2 \sigma_\xi^2 \frac{T}{2} \tau_\xi,$$

где τ_ξ – время корреляции помехи.

Находим относительное значение среднеквадратической погрешности, вносимой помехами при измерении q -го значения огибающей, по формуле

$$\delta N_q = \frac{\sqrt{\langle (\Delta N_q)^2 \rangle}}{N_q} = \frac{\sigma_\xi}{U_g} \frac{\pi}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\tau_\xi}{T}} \approx 2.22 \frac{\sigma_\xi}{U_q} \sqrt{\frac{\tau_\xi}{T}}, \quad (2)$$

Из соотношения (2) следует, что относительное значение СКЗ погрешности, вносимой помехами, при измерении q -го значения амплитуды огибающей, будет уменьшаться с увеличением широкополосности помехи, т. е. при выполнении условия $\tau_\xi \ll T$.

Таким образом, в статье предложен и исследован метод измерения СКЗ АМ сигнала в звуковом, низком и инфранизком диапазонах частот с предварительным преобразованием исходного сигнала в пропорциональную частоту следования импульсов и последующим интегрированием полученной частоты в интервале усреднения, равном полупериоду несущей АМ сигнала, что обеспечивает повышение помехозащищенности измерений.

Список литературы. 1. Кузнецов В.А., Долгов В.А., Коневских В.М. и др. Измерения в электронике: Справочник Энергоатомиздат, 1987.- 512 с. **2.** Попков В.С., Желбанов И.Н. Измерение среднеквадратичного значения напряжения. Энергоатомиздат, 1987.

Поступила в редколлегию 10.03.10