EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA TOIMETISED. 23. KÕIDE
FÜÜSIKA * MATEMAATIKA. 1974, NR. 1

ИЗВЕСТИЯ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР. ТОМ 23.
ФИЗИКА * МАТЕМАТИКА. 1974, № 1

https://doi.org/10.3176/phys.math.1974.1.12

УДК 621.376.2

У. УЙБО

О ВРЕМЕННОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ ПРОЦЕССА СИНХРОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ

U. UIBO. AJALISE ESITUSVIISI KASUTAMISEST SÜNKROONDETEKTORITE OMADUSTE KIRJELDAMISEKS

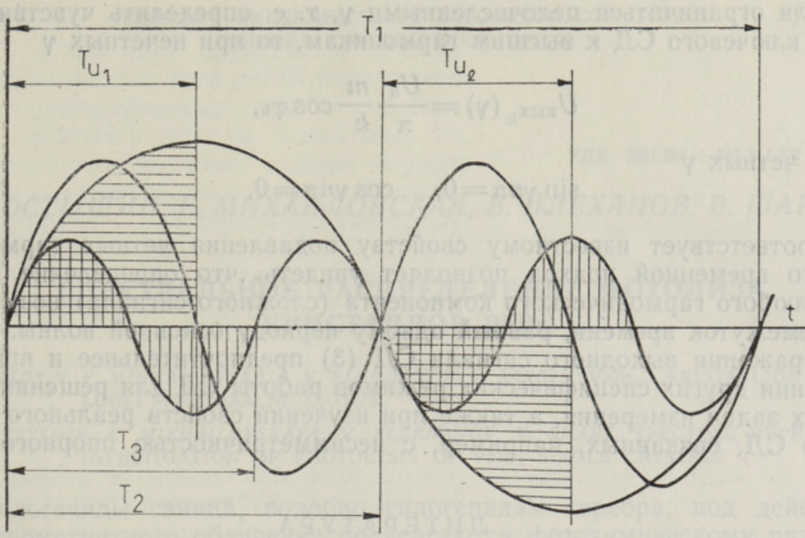
U. UIBO. TIME-DOMAIN APPROACH FOR ANALYSIS OF SYNCHRONOUS DETECTION PROCESS

Для анализа свойств синхронного детектирования обычно используется частотный подход, поскольку синхронный детектор (СД) является по существу элементом умножения, а именно: в частотной области умножению сигналов соответствует обычное умножение функций. Для представления процесса умножения несинусоидальных сигналов производят сначала разложение сигналов в ряд Фурье, а затем умножение частотных компонентов обоих сигналов во всех комбинациях [1]. Если сигналы содержат много компонентов (например, ключевое синхронное детектирование, т. е. когда опорным сигналом служит прямоугольный сигнал), то результат умножения получается очень громоздким и малонаглядным.

Целью настоящего сообщения является желание обратить внимание на целесообразность применения временного подхода для изучения свойств ключевого синхронного детектора. В частности, если после умножения производят усреднение произведения, как это, например, происходит при фазочувствительном детектировании, подавляющее большинство частотных компонентов не дает постоянной составляющей.

Ключевое синхронное детектирование с усреднением представляется проще и удобнее, если процесс рассматривать как прерывистое интегрирование входного сигнала в такте опорного сигнала. Такое представление более точно соответствует существу аппаратурной реализации ключевого синхронного детектирования. Наглядно это показано на рисунке, где входной сигнал изображен в виде трех первых гармоник с периодами T_1, T_2 и T_3. Соответствующее выбранному прямоугольному опорному сигналу $T_{\text{оп}} = T_2 = 1/2T_1$ прерывистое интегрирование происходит с длительностью $1/4T_1$ через промежутки $1/4T_1$.

Из графического изображения видно, что на выходе СД выделяется постоянная составляющая, пропорциональная амплитуде второй гармоники. Первая и третья гармоники не оказывают на нее влияния, так как интегрируются равными разнополярными площадями, которые взаимно компенсируются. Возможные фазовые сдвиги между началом интегрирования и прохождением компонента через нуль не имеют при этом значения.



Если задача измерения заключается в определении величины одного гармонического компонента сигнала сложной формы, то длительность промежутков интегрирования, а также паузы между ними должны равняться половине периода выделяемого компонента.

Обозначая входной сигнал через $U_{\text{вх}}(t)$ и производя усреднение за период основной гармоники T_1, для выходного сигнала получаем следующее выражение

$$U_{\text{вых}}(m)=\frac{1}{T_1}\sum_{n=1}^{m}\int\limits_{(2n-2)T_1/2m}^{(2n-1)T_1/2m} U_{\text{вх}}(t)\,dt, \qquad (1)$$

где m — число промежутков интегрирования в течение одного периода основной волны, т. е. $m=T_1/T_{\text{и}}$,

$T_{\text{и}}$ — период измеряемой гармоники $U_{\text{вх}}(t)$,

T_1 — период первой гармоники $U_{\text{вх}}(t)$.

Если

$$U_{\text{вх}}(t)=\sum_{k=1}^{p}U_k\sin(kx+\varphi_k),$$

где $$x=\frac{2\pi}{T_1}t \quad \text{и} \quad k=\frac{T_1}{T_k},$$

то

$$U_{\text{вых}}(m)=\frac{1}{2\pi}\sum_{n=1}^{m}\int\limits_{(2n-2)\pi/m}^{(2n-1)\pi/m}\sum_{k=1}^{p}U_k\sin(kx+\varphi_k)\,dx. \qquad (2)$$

Обозначая $\gamma=k/m=T_{\text{и}}/T_k$, после интегрирования получаем

$$U_{\text{вых}_k}(\gamma)=\frac{U_k}{2m\gamma\pi}\Big[\cos\varphi_k\sum_{n=0}^{2m-1}(-1)^n\cos\gamma n\pi-\sin\varphi_k\sum_{n=0}^{2m-1}(-1)^n\sin\gamma n\pi\Big]. \qquad (3)$$

Видно, что появление на выходе постоянной составляющей отдельных гармонических компонентов зависит от двух усеченных тригонометрических рядов аргумента $\gamma n\pi$.

Если ограничиться целочисленными γ, т. е. определить чувствительность ключевого СД к высшим гармоникам, то при нечетных γ

$$U_{\text{вых}_k}(\gamma) = \frac{U_k}{\pi} \frac{m}{k} \cos \varphi_k, \tag{4}$$

а при четных γ

$$\sin \gamma n \pi = 0, \quad \cos \gamma n \pi = 0,$$

что соответствует известному свойству подавления четных гармоник. Однако временной подход позволяет увидеть, что определение величины любого гармонического компонента (сложного сигнала) возможно за промежуток времени, равный одному периоду основной волны. Форма выражения выходного сигнала СД (3) предпочтительнее и при нахождении других специфических режимов работы СД для решения различных задач измерения, а также при изучении свойств реального ключевого СД, связанных, например, с несимметричностью опорного сигнала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дехтяренко П. И., Синхронное детектирование в измерительной технике и автоматике, Киев, 1965.

Институт термофизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
20/VII 1973