Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова, 1985, т.106

УДК 543.812

СПОСОБ СТАБИЛИЗАЦИИ АКТИВНЫХ ПОТЕРЬ В ДАТЧИКАХ АВТОГЕНЕРАТОРНЫХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ВЛАГОМЕРОВ

С.С.ГАЛУШКИН, А.А.СОКОЛОВ

В высокочастотных влагомерах с емкостным датчиком необходимо минимизировать влияние на результаты измерений переменных активных потерь контролируемого материала [5]. Существует ряд способов минимизации или компенсации влияния этого фактора [4]. Например, в высокочастотных автогенераторных или мостовых влагомерах [5, 6] шунтируют датчик влажности неуправляемым или управляемым резистором, в работе [2] предложен способ параметрической модуляции высокочастотного колебательного контура. Кроме того, в ряде случаев [I] используют комбинированные датчики с целью измерения реактивной и активной проводимостей с последующим вычитанием результата влияния мешающего фактора. При современном уровне элементной базы электронной техники может быть с успехом использован метод шунтирования колебательного контура высокочастотного влагомера управляемым резистором. В качестве таких резисторов авторы предлагают использовать цепь соответствующим образом включенных полевых транзисторов. В качестве управляющего сигнала для регулирования внутреннего сопротивления полевых транзисторов используется амплитуда высокочастотного сигнала на колебательном контуре.

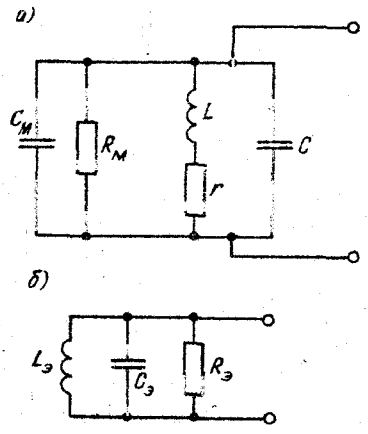


Рис.1. Колебательный контур резонанса токов
а – схема замещения колебательного контура и датчика высокочастотного влагомера; б – преобразованная схема замещения

Покажем правомерность этого способа на примере колебательного контура автогенераторного влагомера. Пусть в автогенераторе используется колебательный контур резонанса токов. Датчик влажности, аппроксимируемый электрической цепью параллельно включенных $C_м$ и $R_м$, подключается параллельно колебательному контуру [5], $C_м$ и $R_м$ отображают электрическую емкость и активное сопротивление датчика с влажным материалом. Эта цепь представлена на рис.I,а, где r – активное сопротивление катушки индуктивности. Схему (рис.I,а) можно преобразовать к виду, показанному на рис.I,б с параметрами

$$L_э = L;\quad C_э = C + C_м;\quad \rho = \sqrt{\frac{L_э}{C_э}};\quad R_э = \frac{\rho^2 R_м}{\rho^2 + R_м r}.$$

Активное сопротивление и электрическая емкость датчика влажности будут влиять на добротность контура

$$Q = \frac{R_э}{\rho} = \frac{R_э}{\sqrt{L_э / C_э}},$$

а следовательно, и на амплитуду сигнала, снимаемого с контура.

На первый взгляд предложенный выше способ компенсации влияния активных потерь непригоден. Однако уточним это на примере влагомера апатитового концентрата ВЧВ-5П, разработанного в Ленинградском горном институте. Исходные данные: диапазон измерения влажности 0–4 %; рабочая частота автогенератора 0,5 МГц; индуктивность контура – 180 мкГн; емкость контура – 550 пФ; диапазон изменения активного сопротивления датчика 10^6–10^3 Ом; диапазон изменения электрической емкости 0–30 пФ; сопротивление катушки индуктивности 5 Ом. При разработке измерительных автогенераторов необходимо выполнять условие:

$$\frac{\Delta f}{f_р} \ll 1 \quad \text{или} \quad \frac{C_м}{C} \ll 1,$$

где Δf – расстройка автогенератора, $f_р$ – резонансная частота контура, практически Δf составляет не более 1–3 % от $f_р$, в нашем случае Δf = = 1,4 %.

Сравним изменение добротности контура для условий: 1) $R_э - var$, $C_э = const$; 2) $R_э - const$, $C_э = var$.

В первом случае при изменении $R_м$ в 1000 раз Q изменяется на 200 %, во втором случае при $R_м$ = 1000 Ом изменение добротности ΔQ составляет 2,5 %. Расчет убеждает нас в правомерности предлагаемого способа. Упоминание об использовании полевых транзисторов в качестве управляемых резисторов есть в работах [3, 7]. Есть типы современных полевых транзисторов, внутреннее сопротивление которых может регулироваться от 10 Ом до нескольких мегаом. Это их свойство вполне удовлетворяет поставленной задаче, так как активное сопротивление практически всех промышленных материалов в емкостных датчиках не спускается ниже 10 Ом. Однако им присущи существенные недостатки: наблюдается существенная нелинейность зависимости $R_{вн} = F(U_{упр})$ (где $R_{вн}$ – внутреннее сопротивление канала; $U_{упр}$ – управляющее напряжение на затворе); проходная емкость $C_{пр}$ изменяет свое значение при переменном $U_{упр}$. Авторы попытались получить на полевых транзисторах реверсивный элемент с зависимостью $R_{вн} = F(U_{упр})$, близкой к прямолинейной. Для этого составляется схема из двух транзисторов, каналы которых включаются встречно-последовательно, а управляющие цепи подключаются параллельно к элементу управления. При этом проходная емкость этой схемы становится в два раза меньше, чем отдельного транзистора. У ряда современных полевых транзисторов $C_{пр}$ составляет несколько

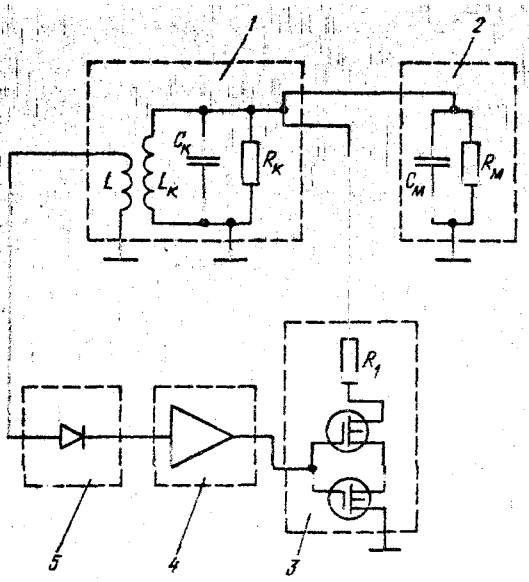


Рис.2. Стабилизатор активных потерь
1 – контур автогенератора; 2 – датчик влажности; 3 – управляемый резистор; 4 – операционный усилитель; 5 – детектор

десятых долей пикофарады. На рис.2 представлена блок-схема стабилизатора активных потерь, которая была исследована на примере двух типов автогенераторов – двухтактного и с глубокой индуктивной обратной связью.

Схема работает следующим образом. При увеличении влажности материала в датчике 2 изменяется $C_м$, которое приводит к изменению частоты f автогенератора I и практически не влияет на амплитуду сигнала A, снимаемого с контура $L_к$, $C_м$. В то же время уменьшается $R_м$, которая влияет в равной мере как на f, так и на A. В нашем случае A уменьшается, следовательно, с детектора 5 снимается постоянное напряжение меньшего значения, которое подается на операционный усилитель 4. С усилителя 4 снимается управляющий сигнал меньшего значения и подается одновременно на затворы обоих транзисторов. Их общее внутреннее сопротивление возрастает, поэтому общее сопротивление активных потерь в контуре автогенератора, состоящее из $R_к$, $R_м$ и $R_{эн}$, остается постоянным. В целом стабилизатор активных потерь представляет собой контур регулирования с отрицательной обратной связью по сопротивлению. Точность работы стабилизатора активных потерь зависит от коэффициента усиления контура (L, 3, 4, 5).

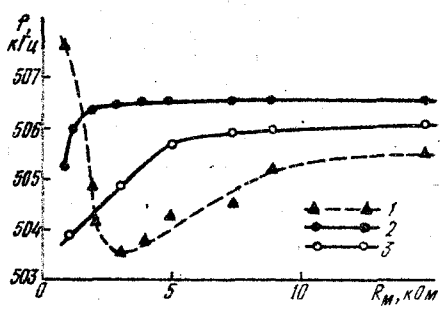


Рис.3. Зависимости $f = F(R_м)$ для двухтактного автогенератора
1 – без стабилизатора; 2 – со стабилизатором; 3 – со стабилизатором при R_1 = 2000 м

Результаты исследований двухтактного автогенератора иллюстрированы графиками на рис.3. Параметры автогенератора: $C_к$ = 500 пФ; $L_к$ = 180 мкГн; $f \approx$ 500 кГц; $R_к$ = 5,1 кОм.

Без стабилизатора активных потерь частота автогенератора имеет неоднозначную и тесную зависимость от $R_м$, что вполне согласуется с формулой Томпсона для резонансной частоты колебательного контура. Со стабилиза-

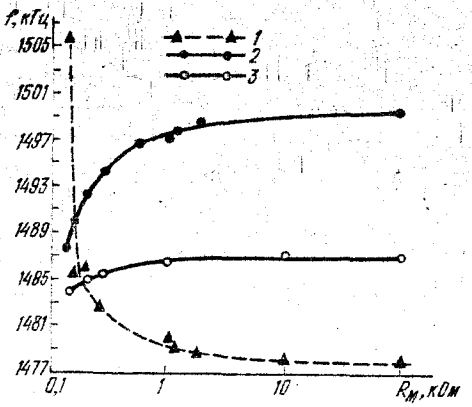


Рис.4. Зависимости $f = F(R_м)$ для автогенератора с глубокой индуктивной обратной связью
1 – без стабилизатора при $R_к$ = 100 Ом;
2 – со стабилизатором при $R_к = \infty$;
3 – со стабилизатором при $R_к$ = 100 Ом; R_1 = 13 Ом

тором активных потерь результаты значительно улучшаются. Однако в области низких значений наблюдается спад зависимости $f = F(R_м)$. Авторы предлагают для расширения диапазона работы стабилизатора использовать регулировочные сопротивления $R_к$ и R_1 (см. рис.2). Например, для данного автогенератора подбором $R_к$ удается получить диапазон работы от 5 кОм до ∞, а подбором $R_к$ и R_1 диапазон удалось расширить до 2 кОм. Аналогичные результаты получены и с автогенератором с глубокой индуктивной обратной связью (рис.4). Параметры этого генератора: $C_к$ = 2400 пФ; $L_к$ = 4,6 мкГн; $f \approx$ 1500 кГн; $R_к$ = 100 Ом. Подбором резисторов $R_к$ и R_1 диапазон работы стабилизатора можно довести от 200-300 Ом до ∞. Резистор $R_к$ используется для дополнительной линеаризации выходных характеристик, а R_1 – для дополнительного снижения влияния проходных емкостей полевых транзисторов.

Выводы

1. Целесообразно в емкостных автогенераторных влагомерах для минимизации влияния активной проводимости датчиков использовать стабилизаторы активных потерь, выполненных в виде контура регулирования с отрицательной обратной связью по сопротивлению.

2. В качестве управляемых резисторов можно использовать два включенных встречно-последовательно полевых транзистора. При этом управляющий сигнал снимается с колебательного контура автогенератора, детектируется, усиливается и подается одновременно на затворы обоих транзисторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.с. 370512 (СССР). Устройство для измерения влажности / Е.С.Кричевский, А.Ф.Авдеева, С.С.Галушкин. – Опубл. в Б.И., 1973, № 11.

2. А.с. 289369 (СССР). Устройство для автоматического измерения емкости конденсаторов, обладающих значительными потерями / Л.В.Каменев, А.М.Левин, В.А.Митрофанов – Опубл. в Б.И., 1971, № 1.

3. Васильев В. Полевые транзисторы в реверсивных каскадах. Радио, 1984, № 2.

4. Галушкин С.С. Исследование первичных преобразователей непрерывных высокочастотных влагометрических систем горно-обогатительного производства. Автореф. канд. дис. Л., изд. ЛГИ, 1971.

5. Кричевский Е.С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых. М., Недра, 1972.

6. Маркелов А.А. Исследование некоторых емкостных систем для измерения влажности формовочных смесей. Автореф. канд. дис. Л., изд. ЛТИ, 1970.

7. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая автоматика. М., Мир, 1982.