

## ПРИМЕНЕНИЕ УСИЛИТЕЛЕЙ С ФИКСАЦИЕЙ УРОВНЯ ПРИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ

Козлов Е.Ю.

117454, Москва, просп. Вернадского, 78. МИРЭА. Кафедра радиоприборов.

Одним из наиболее важных, звеньев в цепи устройств при цифровой обработке сигналов являются аналого-цифровые преобразователи (АЦП). Они предназначены для преобразования непрерывного аналогового сигнала, поступающего с выхода какого-либо радиотехнического устройства на вход цифровой системы (компьютера), где происходит его дальнейшая обработка. Естественно, что цифровой сигнал на выходе АЦП имеет параметры, отличающиеся от параметров сигнала на входе. Это обусловлено дискретизацией непрерывного сигнала и ошибками квантования в АЦП. Поэтому, точная передача параметров входного сигнала на выход АЦП является непростой задачей. Более точное повторение формы входного сигнала обеспечивается выбором высокой частоты дискретизации, однако при этом, безусловно, нельзя забывать и о таком ключевом параметре, как скорость работы преобразователя.

При разработке или выборе АЦП необходимо учитывать большое количество параметров, таких как: Разрядность; технологическое исполнение; количество входных аналоговых каналов; быстродействие (время преобразования); максимальная частота дискретизации; наличие запоминающего устройства; отношение сигнал/шум в полосе пропускания; коэффициент усиления; параметры аналоговых и цифровых фильтров; входная емкость; входное сопротивление; диапазон входного напряжения; масса, габариты, стоимость и т.п.

Как следует из приведенного перечня параметров, диапазон входного напряжения является довольно важной характеристикой, на которую необходимо обратить внимание в целях защиты входа АЦП от перенапряжения. Максимальное входное напряжение может различаться для каждого конкретного преобразователя, но, как правило, входное аналоговое напряжение не должно превышать напряжение питания на 0,3 В.

На практике обычно нельзя ограничиться только контролем напряжения, подаваемого на вход прибора. Для повышения надежности работы, увеличения срока службы преобразователей и поддержания заданных характеристик необходима установка устройств защиты от перенапряжения на входе АЦП.

Существуют различные схемы защиты входа от перенапряжения. Как правило, они включают в себя защитные диоды, которые могут содержаться в самом АЦП, или подключаться к его входу и находиться вне АЦП. Одна из схем защиты, в которой применены внешние диоды, показана на рис.1.

На рис.1 операционный усилитель (ОУ) подключен к источнику питания  $\pm 15$  В, а АЦП к источнику питания  $\pm 5$  В. Включением диодов Шоттки VD1 и VD2 обеспечивается защита входа АЦП от превышения входного напряжения. Некоторые АЦП уже содержат в себе защитные диоды, однако введение внешних диодов обеспечивает защиту от больших токов. Сопротивление R, включенное между выходом ОУ и входом АЦП, обеспечивает ограничение входного тока до допустимых пределов.

Современные быстродействующие усилители с фиксацией уровня представляют собой довольно интересные и перспективные радиоэлектронные устройства, на основе которых возможно построение цепей защиты входов АЦП от перенапряжения. Данные усилители, как правило, вносят малые искажения входного сигнала. Это положительно сказывается на передаче параметров сигнала при его последующей цифровой обработке. Ряд подобных устройств позволяет самому конструктору определить значения верхнего и нижнего напряжения ограничения (фиксации уровня:  $U_{в}$ ,  $U_{н}$ ). При этом, если входное напряжение превысит один из данных показателей, то выходное напряжение будет зафиксировано на определенном уровне. Структурная схема устройства представлена на рис.2.

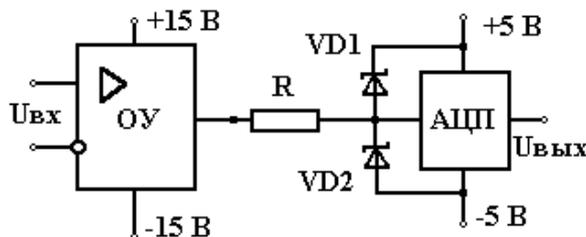


Рис.1. Схема защиты входа АЦП от перенапряжения

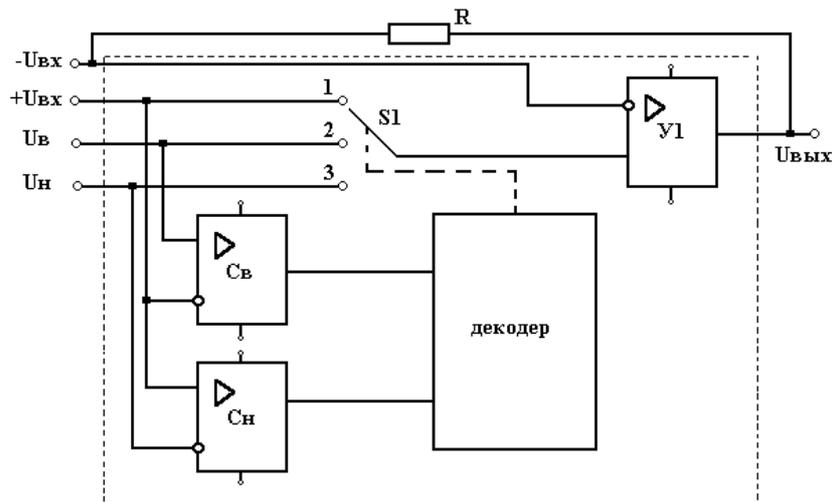


Рис.2. Структурная схема усилителя с фиксацией уровня

Принцип действия подобного устройства поясним на примере данного рисунка. На вход усилителя подается входной аналоговый сигнал, напряжение которого  $\pm U_{вх}$ . На контакты, обозначенные на рис.2, как  $U_{в}$  и  $U_{н}$ , подается, соответственно, максимально допустимое (верхнее) и минимально допустимое (нижнее) напряжение. Входное напряжение подается на два компаратора, контролирующих верхний допустимый уровень ( $C_{в}$ ) и нижний допустимый уровень ( $C_{н}$ ). Для обеспечения точной передачи характеристик входного сигнала полосы пропускания компараторов должны быть примерно равны полосе пропускания выходного дифференциального усилителя ( $Y1$ ). После обработки в компараторах сигналы подаются на декодер, который управляет переключателем  $S1$ . Включение внешнего резистора  $R$  необходимо для обеспечения обратной связи. Этот резистор соединяет выход усилителя с его инвертирующим входом. Подбором величины сопротивления  $R$  можно изменять величину коэффициента усиления.

На практике процесс фиксации уровня входного сигнала можно пояснить следующим образом. Пусть  $U_{в}=1$  В, а на второй вход ( $U_{н}$ ) ограничительный сигнал нижнего уровня не подан. Допустим, что коэффициент усиления дифференциального усилителя равен 1. Если  $U_{вх}$  изменяется в пределах от 0 В до 1 В, то  $U_{вых}$  должно изменяться прямо пропорционально от 0 В до 1 В. Если же  $U_{вх}$  превысит значение  $U_{в}=1$  В, то  $U_{вых}$  должно остаться неизменным и равняться 1 В.

Если рассмотреть более подробно процессы, происходящие внутри устройства, то можно отметить следующее. Когда входное напряжение  $U_{вх}$  лежит в пределах от  $U_{н}$  до  $U_{в}$  (в нашем случае от 0 В до 1 В), то устройство работает в обычном режиме: переключатель  $S1$  находится в положении 1, и к неинвертирующему входу усилителя прикладывается входное напряжение  $U_{вх}$ . Когда напряжение  $U_{вх}$  превысит  $U_{в}$ , срабатывает компаратор  $C_{в}$ , и под воздействием декодера переключатель  $S1$  меняет свое положение из 1 в 2. В этом случае, на выход подается напряжение  $U_{в}$ . Похожая ситуация наблюдается, когда входное напряжение будет меньше  $U_{н}$ . Например, если входное напряжение будет равно  $-0,4$  В, то сработает компаратор  $C_{н}$ , и декодер, воздействуя на переключатель  $S1$ , изменит его положение из 1 в 3. После того, как входное напряжение будет снова лежать в пределах от  $U_{н}$  до  $U_{в}$ , переключатель вернется в положение 1 и переведет усилитель в штатный режим работы.

Здесь стоит отметить, что названия  $U_{в}$  и  $U_{н}$  даны по отношению к входному напряжению. Отсюда следует, что если, например,  $U_{вх}=0,5$  В, контакт ( $U_{в}$ ) останется незапитанным, а  $U_{н}=2$  В, то переключатель, под действием компаратора  $C_{н}$  переключится в положение 3 и на выходе будет наблюдаться напряжение  $U_{н}=2$  В.

Кроме непосредственного применения усилителей с фиксацией уровня на входах АЦП, существует несколько других полезных приложений для данных устройств. В качестве устройств, в которых могут применяться подобные усилители можно назвать, например, амплитудный модулятор и двухполупериодный выпрямитель. Рассмотрим подробнее применение усилителя с фиксацией уровня в качестве амплитудного модулятора.

**Амплитудный модулятор на основе усилителя с фиксацией уровня**

Структурная схема усилителя с фиксацией уровня, выполняющего функцию амплитудного модулятора, показана на рис.3. Принцип работы данного прибора заключается в следующем. На неинвертирующий вход усилителя подается высокочастотное несущее колебание, представляющее собой импульсную последовательность. На инвертирующий вход, соединенный со входом, на который должен подаваться сигнал нижнего уровня ( $U_n$ ), подается модулирующий сигнал ( $U_{мод}$ ). На вход для верхнего ограничительного сигнала подается напряжение  $U_v > 0$ .  $\pm U_n$  – напряжение питания усилителя.

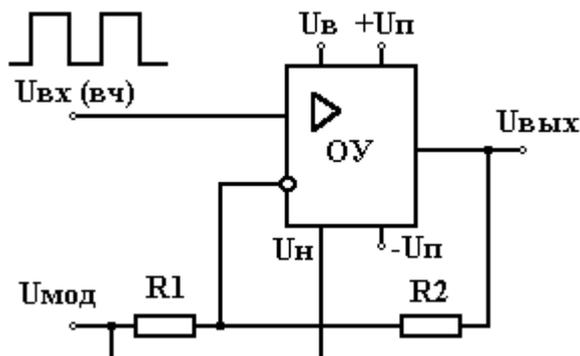


Рис.3. Структурная схема амплитудного модулятора

Амплитуда несущего колебания принимается достаточно большой, по сравнению с напряжениями верхнего и нижнего уровня ( $U_v$  и  $U_n$ ), для достижения эффекта ограничения.

Поскольку  $U_n$  представляет собой не постоянное значение, а сигнал определенной формы, то выходной сигнал будет ограничен двумя такими огибающими, находящимися в противофазе (типичное АМ колебание). При этом, верхнее колебание будет получено в результате смещения  $U_v$  при воздействии на него модулирующего напряжения, подаваемого на инвертирующий вход. Фаза выходного колебания будет на  $180^\circ$  отличаться от фазы входного модулирующего колебания. Форма нижнего колебания будет сформирована в результате двух воздействий. На первом этапе произойдет аналогичное формирование такого же колебания, как и наверху. Затем, данное колебание, под действием напряжения  $U_n$ , представляющего собой модулирующее колебание в противофазе, поменяет полярность и примет такую же форму, что и входной модулирующий сигнал. Таким образом, на выходе устройства будет АМ колебание, нижняя граница которого будет находиться в фазе со входным модулирующим колебанием, а верхняя – в противофазе.

Глубину модуляции можно варьировать, изменяя, как амплитуду модулирующего сигнала, так и напряжение  $U_v$ . При этом если мы будем изменять амплитуду модулирующего сигнала, то будут изменяться амплитуды верхнего и нижнего колебаний выходного АМ сигнала. Если же мы будем изменять постоянное напряжение  $U_v$ , то в этом случае, их амплитуда останется постоянной, а изменится расстояние между ними (изменится среднее значение).

В заключение отметим, что усилители с фиксацией уровня являются современными перспективными устройствами, которые находят широкое применение, как при аналого-цифровой обработке сигналов, защищая входные цепи АЦП от перенапряжения, так и в других областях радиотехники. Однако, они не лишены и определенных недостатков, (например, наличие определенного порога срабатывания). Данным вопросам следует уделять внимание при разработке новых устройств подобного типа.

Библиографический список

1. Analog Devices Application Note: High Speed Sampling ADCs. [WWW.SSS-MAG.COM](http://WWW.SSS-MAG.COM)
2. Нефедов В.И. Основы радиотехники. Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 2000.



## APPLICATION OF CLAMPING AMPLIFIERS AT ANALOG-DIGITAL SIGNAL PROCESSING

Kozlov E.

Faculty of radiodevices., MIREA  
78, prospect Vernadskogo. MIREA. Moscow. Russia. 117454.

One of the most important parts in a circuit at digital signal processing are the analog-to-digital converters (ADC). They are intended for transformation of a continuous analog signal acting from an exit any of the radioengineering device on input of a digital system (digital computer), where there is its further handling. Obviously, the digital signal on the ADC output has different parameters than the parameters of input signal. It is stipulated by digitization of a continuous signal and sampling errors in ADC. Therefore, the precise input signal parameters transfer to the ADC exit is not a simple task. Exact recurrence of the input signal waveform is ensured with a choice of a high sampling rate, however, it is impossible to forget about such a key parameter, as ADC speed (rate of operation).

At the development stage or while choosing the ADC it is necessary to take into account a number of parameters, such as:

- Digit capacity (effective number of bits);
- Technological performance;
- Amount of input analog channels;
- Speed;
- Maximum sampling rate;
- Presence of a storage device;
- Signal-to-noise ratio in a passband;
- Gain;
- Analog and digital filters parameters;
- Input capacity;
- Input impedance;
- Input voltage range;
- Mass, overall dimensions, cost etc.

As follows from the list of parameters, the input voltage range is a very important characteristic, to which it is necessary to pay attention for the ADC input protection. The maximum input voltage can differ for each particular converter, but, as a rule, entering analog voltage should not exceed the supply voltage by more than 0,3V.

In practice it is usually impossible to be limited only with monitoring of voltage acted on a device input. For a longterm reliability, ADC lifetime increasing and maintenance of preset performance, the installation of protective systems from an ADC input overvoltage is necessary.

There are different schemes for the ADC input protection. As a rule, they include protection diodes, which can be inside the ADC itself, or be connected to it's input and be outside the ADC. One of the protecting circuit with the external diodes is shown in fig.1.

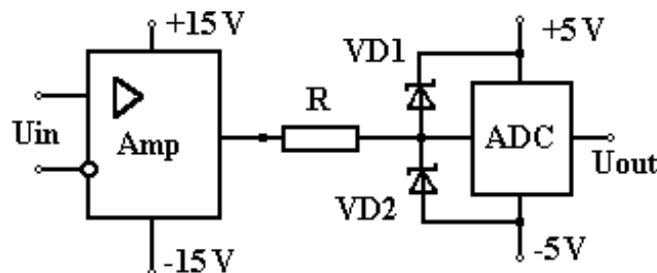


Fig. 1. The ADC overvoltage protection circuit

Fig. 1 shows the operational amplifier (Amp) connected to the 15V power supply, and the ADC to the 5V power supply. By connection of Schottky diodes VD1 and VD2 the ADC input overvoltage protection is ensured. Some of the ADC already comprise protection diodes, however external diodes provide the protection from input voltage overflow. Resistor R connected between an Amp exit and ADC input, ensures limitation of input current up to admissible limits.

The modern fast clamping amplifiers represent rather interesting and perspective radioelectronic devices, on the basis of which the ADC overvoltage input protection circuits construction is possible. These amplifiers, as a rule, bring in small distortions of an input signal. It positively has an effect for the signal parameters transfer with it's consequent digital processing. The series of similar devices allows the designer to define values of the high and low clamp voltage ( $U_h$ ,  $U_L$ ). Thus, if the input voltage will exceed one of these values, the output voltage will be fixed at a defined level. The fig.2 represents a skeleton diagram of this device.

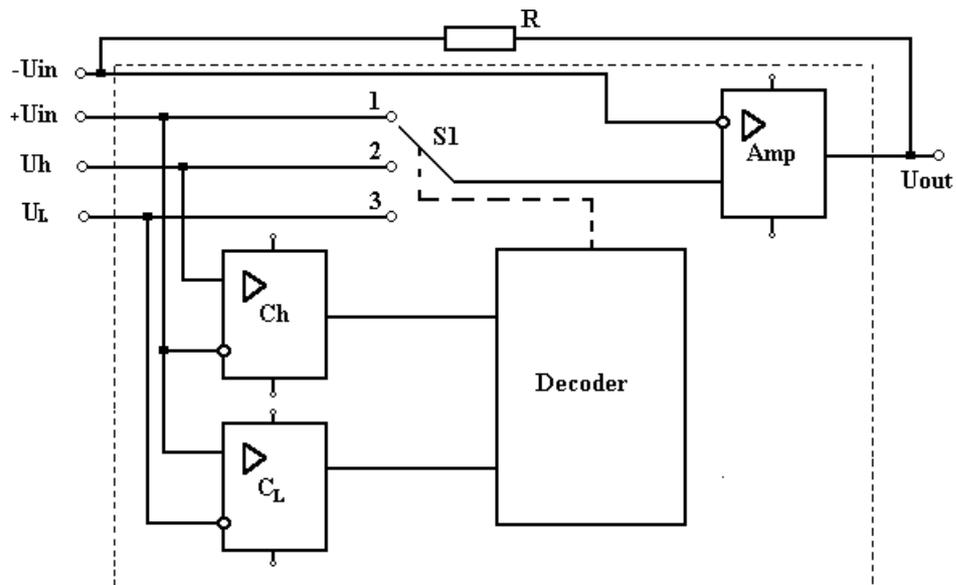


Fig. 2. The clamping amplifier skeleton diagram

We will explain the operational principle of this device on an example of this figure. The analog signal ( $U_{in}$ ) is applied to the amplifier input. High and low clamp voltages are applied on contacts designated in a fig.2 as  $U_h$  and  $U_L$ , respectively. The input voltage acts on two comparators inspecting the upper clamp level (Ch) and the lower clamp level (CL). The passband of comparators should be approximately equal to a passband of an output differential amplifier (Amp) for the precise input signal performance transfer. After handling in comparators the signals move on the decoder, which operates the switch S1. The external resistor R connecting is necessary for a feedback. This resistor connects an amplifier's output to its inverting input. By selection of magnitude of resistance R it is possible to change gain.

In practice the input signal clamping process can be explained as follows. Let  $U_h=1V$ , and the second input ( $U_L$ ) is open. Let amplifier is set to gain of 1. If  $U_{in}$  varies in the range from 0V to 1V,  $U_{out}$  should vary directly from 0V up to 1V. If  $U_{in}$  will exceed a value  $U_h=1V$ ,  $U_{out}$  should remain constant and be equal to 1V.

If to consider internal processes in more detail, it is possible to mark the following. When the input voltage  $U_{in}$  lays in the range from  $U_L$  to  $U_h$  (in our case from 0V to 1V), the device works in a usual condition: the switch S1 is in state 1, and the input voltage  $U_{in}$  applies to the not inverting amplifier input. When the voltage  $U_{in}$  will exceed  $U_h$ , the comparator Ch is powering on, and the switch S1 changes state from 1 to 2 under effect of the decoder. In this case, the output voltage moves to the  $U_h$ . The similar situation when the input voltage will be less than  $U_L$ . For example, if the input voltage will be -0,4V, the comparator CL will work, and the decoder, effecting on the switch S1, will change its state from 1 to 3. When the input voltage will lay again in the range from  $U_L$  to  $U_h$ , the switch will return to the state 1 and will transfer the amplifier in a regular mode of operation.

It is necessary to note, that the symbols  $U_h$  and  $U_L$  are given in relation to an input voltage. As a result of it, for example, if  $U_{in}=0,5V$ , the contact ( $U_h$ ) remains open, and  $U_L=2V$ , the switch, under the operation of the comparator CL will be switched to the state 3 and the output voltage  $U_{out}$  will be 2V.

There are several useful applications for these devices except direct application as the clamping amplifiers on the ADC inputs. For example, as an application for this type of amplifiers one can name the amplitude modulator and full-wave rectifier. Let us consider the application of a clamping amplifier as an amplitude modulator in detail.

#### Amplitude modulator based on the clamping amplifier

Fig.3. shows the skeleton diagram of a clamping amplifier executing function of an amplitude modulator. The principle of operation of the given device consists in the following. The high-frequency carrier oscillation representing a square-pulse waveform, acts on a not inverting amplifier input. Inverting input, connected with an input for the low clamp level ( $U_L$ ), is driven by the modulation signal ( $U_{mod}$ ). Voltage  $U_h > 0V$  applies on an input for the high clamp level.

The amplitude of a carrier should be large enough to produce clamping action at both high and low clamp levels.

As  $U_L$  represents not a fixed value but the signal of a definite form, an output signal will be limited by two such out-of-phase envelopes (typical AM). Thus, the upper oscillation will be obtained as a result of  $U_h$  shifting affected by modulation signal voltage, set on inverting input. The phase of output oscillation will differ from a phase of input modulating oscillation by  $180^\circ$ . The lower oscillation waveform will be generated as a result of two effects. At the first stage there will be a similar shaping of the same oscillation, as well as overhead. Then, the given oscillation will change polarity and will be the same waveform, as input modulation signal, under  $U_L$  operation,

representing out-of-phase modulating oscillation. Thus, the AM will be on the output, lower envelope of which will be in phase with the input modulating oscillation, and upper – out-of-phase.

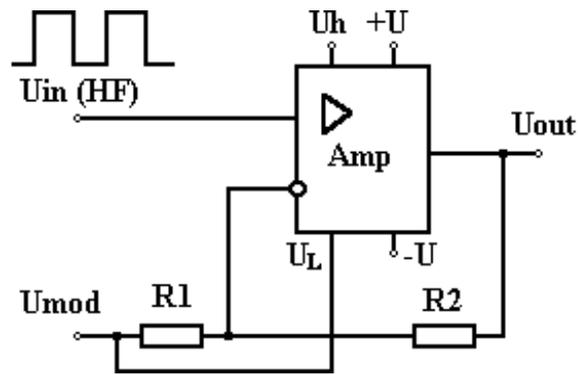


Fig. 3. The amplitude modulator skeleton diagram

The modulation depth can be varied, changing, both amplitude of a modulation signal, and voltage  $U_h$ . Thus if we change modulation signal amplitude, the amplitudes of the upper and lower envelopes of the output AM signal will vary. If we change the fixed voltage  $U_h$ , their amplitude will remain fixed, and the interval between them will change.

In summary we have to note that the clamping amplifiers are modern perspective devices, which discover a wide application, as at analog-digital signal processing, protecting input circuits in ADCs from overvoltage, as in other areas of radioengineering. However, they are not deprived from some deficiencies (e.g.: they have input threshold). One should pay attention to these questions at the research and development of new devices of a similar type.

#### REFERENCES

1. Analog Devices Application Note: High Speed Sampling ADCs. [WWW.SSS-MAG.COM](http://WWW.SSS-MAG.COM)
2. Nevyodov V.I. Osnovy radiotekhniki. M. Vysshaya shkola. 2000.