

5. Компанец В.К. Измерительный преобразователь на магнитных элементах для сигналов термопар. "Обработка информации в автоматических системах". Межвузовский сборник статей, вып.3, Рязань, 1976.

6. Капитонова Л.М., Компанец В.К., Старобинский Н.М. Влияние геометрических размеров сердечников на чувствительность магнитно-транзисторных инверторов. "Автоматические измерительные и регулирующие устройства". Научные труды вузов Поволжья, вып.7, Куйбышев 1974.

УДК 681.374.387

В.Г.Иоффе, А.В.Логвинов, Ю.В.Шеничкинов

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ В АМПЛИТУДНЫХ НОРМАЛИЗАТОРАХ ИМПУЛЬСНЫХ СИГНАЛОВ

В настоящее время наибольшее применение в технике АЦЦ получили амплитудные нормализаторы, преобразующие входной импульсный сигнал в квазипостоянное напряжение или временной интервал. Как правило, в подобных нормализаторах производится заряд накопительной емкости до амплитудного значения входного импульса и затем накопленный заряд хранится в течение необходимого времени /аналоговое запоминающее устройство/ или эта емкость разряжается стабильным током /амплитудно-временной преобразователь/.

При проектировании указанных устройств на интегральных операционных усилителях в связи с их относительно невысоким быстродействием возникают трудности при преобразовании импульсов наносекундного и микросекундного диапазона. Поэтому представляется достаточно важной задача максимального использования частотных свойств усилителя, а также синтеза оптимального процесса заряда накопительной емкости.

Рассмотрим процесс заряда накопительной емкости на примере аналогового запоминающего устройства /АЗУ/. Структурная схема АЗУ приведена на рис.1, где интегральный операционный усилитель ОУ представлен в виде каскадного соединения безынерционного звена и линейных звеньев, характеризующих его инерционные свойства. Подобная замена не вносит существенной погрешности, т.к. область линейного усиления не превышает единиц милливольт. Значения τ и t_0

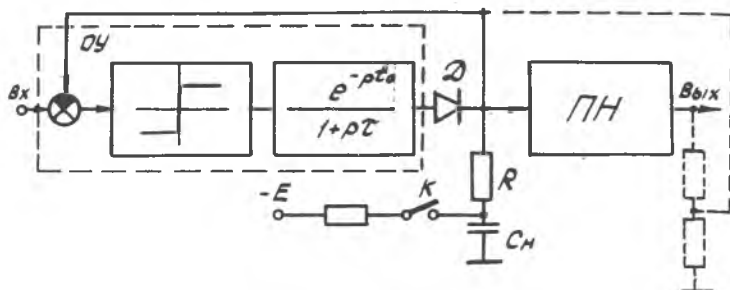


Рис. 1.

определяются известными методами идентификации для режима динамической перегрузки ОУ. Нагрузка подключена к АЗУ через повторитель напряжения ПН с большим входным сопротивлением. Напряжение обратной связи $U_{ос}$ можно снимать с выхода ПН. При этом резко снижаются требования к его метрологическим характеристикам, а также появляется возможность использования делителя $U_{ос}$ /показан на рис.1 пунктиром/, и преобразования сигнала с заданным масштабным коэффициентом. Ключ К предназначен для разряда C_H в конце времени запоминания.

Если в момент $t=0$ на вход АЗУ поступает импульс напряжения амплитудой $U_{вх}$, то на выходе появляется напряжение, имеющее форму экспоненты с постоянной времени T и стремящейся к $U_{нас}$. В момент t_1 , когда $U_{ос} = U_{вх}$, релейное звено переходит из состояния $+U_{нас}$ в состояние $-U_{нас}$, но напряжение $U_{ос}$ вследствие наличия задержки нарастает еще некоторое время, пока не начнет спадать до момента t_2 , когда снова выполняется условие $U_{ос} = U_{вх}$. При отсутствии резистора R $U_{ос} = U_c$ и, следовательно, C будет всегда заряжаться до напряжения большего, чем $U_{вх}$. Подобная картина наблюдается и при относительно малых значениях R /рис. 2, крив.1/.

На промежутке времени $t_1 - t_2$ напряжение U_c стремится к

значению $U_{oc} > U_{ex}$. Если ёмкость не успевает зарядиться до напряжения U_{ex} к моменту t_g , то дальнейший процесс заряда значительно затягивается, т.к. приближение U_c к U_{oc} носит асимптотический характер /рис.1, крив.2/. Очевидно, оптимальным является такой заряд C_H , когда /рис.1, крив.2/:

$$U_c(t_g) = U_{oc}(t_g) = U_{ex} \quad (1)$$

Условие (1) может быть использовано для определения оптимальной величины R .

Частотная характеристика ОУ без ООС аппроксимируется обычно 2-3 полюсной функцией [1]. В ОУ с ООС постоянная времени цепи коррекции, определяемая известными методами теории устойчивости, превышает, как правило, на порядок и более постоянные времена, соответствующие высокочастотным полюсам и нулям. При этом $\tau \approx R_{22} C_k$, где R_{22} - сопротивление относительно общего провода в точке подключения корректирующей ёмкости C_k . Задержка $t_0 \approx \sum_{i=1}^n \tau_i - \sum_{i=1}^m \tau_{ni}$, где τ_i и τ_{ni} - постоянные времена, соответствующие полюсам и нулям характеристики ОУ в режиме динамической перегрузки.

С учетом сказанного

$$U_{oc}(p) = \frac{U_{нас} e^{-pt_0}}{1+p\tau} \operatorname{sign}(U_{ex}-U_{oc}); \quad (2)$$

$$U_c(p) = \frac{U_{нас} e^{-pt_0}}{(1+p\tau)(1+p\tau_i)} \operatorname{sign}(U_{ex}-U_{oc}) \quad (3)$$

где $\tau_i = RC_H$.

Для $t_1 < t < t_g$ $\operatorname{sign}(U_{ex}-U_{oc}) = -1$ напряжения U_{oc} и U_c могут быть представлены в виде суммы реакций на скачок $U_{нас}$ при $t=0$ и скачок $-2U_{нас}$ при $t=t_1$

$$U_{oc}(t)_{t_1 < t < t_g} = -U_{нас} [1 + \exp(-\frac{t-t_0}{\tau}) - 2 \exp(-\frac{t-t_1-t_0}{\tau})]; \quad (4)$$

$$U_c(t)_{t_1 < t < t_g} = -U_{нас} \left[1 + \frac{\tau}{\tau - \tau_i} \left[\exp(-\frac{t-t_0}{\tau}) - 2 \exp(-\frac{t-t_1-t_0}{\tau}) \right] + \frac{\tau_i}{\tau_i - \tau} \left[\exp(-\frac{t-t_0}{\tau_i}) - 2 \exp(-\frac{t-t_1-t_0}{\tau_i}) \right] \right]; \quad (5)$$

где $t_1 = -\tau \ln \left(1 - \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{нас}}}\right) + t_0$. (6)

Решая (4) для $t = t_2$ и используя (6), найдем

$$t_2 = \tau \ln \left[\frac{2 \exp\left(\frac{t_0}{\tau}\right) - 1 + \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{нас}}}}{1 - \left(\frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{нас}}}\right)^2} \right] + t_0 \quad (7)$$

Используя условие (1), получим

$$1 + \frac{U_{\text{вх}}}{U_{\text{нас}}} = 2 \exp\left(-\frac{t_2 - t_1 - t_0}{\tau}\right) - \exp\left(-\frac{t_2 - t_0}{\tau}\right). \quad (8)$$

Решение численным методом уравнения (8) с учетом (6) и (7) при постоянных τ , τ_1 и $U_{\text{нас}}$ показало, что оно выполняется, если при изменении $U_{\text{вх}}$ соответствующим образом /рис.3/ будет изменяться t_0 . Экспериментально доказано, что если условие (8) выполняется для данной амплитуды $U_{\text{вх}}$, то для амплитуд, больших $U_{\text{вх}}$, процесс заряда идет по кривой 1 /рис.2/, а для меньших - по кривой 3. Следовательно, при работе усилителя в

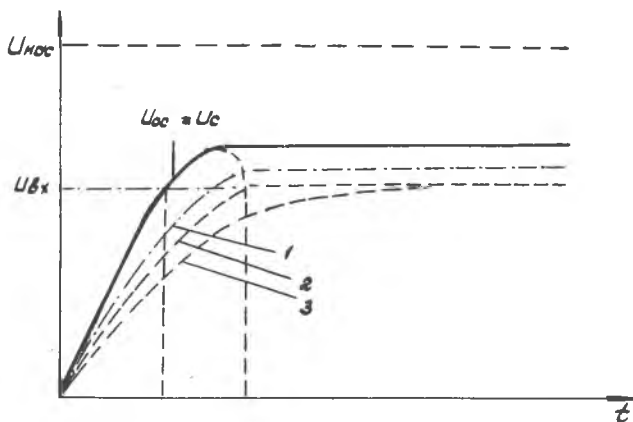


Рис. 2.

режиме динамической перегрузки в его тракте присутствует задержка, изменяющаяся от амплитуды сигнала, и причем более резко, чем это

задается графиком на рис.3 для соответствующих параметров. На практике это приводит к тому, что мы должны выбрать R /при заданном C_H /, удовлетворяющее условию (8) для максимальной амплитуды, а с уменьшением $U_{вх}$ указанное условие нарушится, и заряд

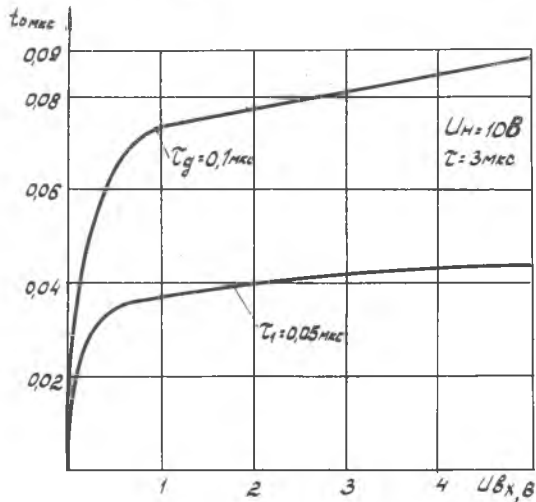


Рис. 3.

C_H будет происходить согласно кривой 3 /рис.2/. На быстрейшем это существенно не отразится, т.к. увеличение времени заряда за счет затягивания его конечного этапа $|t > t_2|$ компенсируется уменьшением величины t_2 .

Величина τ , как было сказано выше, выбирается из условия устойчивости ОУ в линейном режиме, когда $U_{вх} - U_{ос} \approx 0$. Запас по фазе выбирается таким образом, чтобы на переходной характеристике ОУ наблюдался только один выброс, иначе ёмкость C_H зарядится от последующих выбросов до напряжения, большего, чем $U_{вх}$. Затем подбирается оптимальная величина R . Так как этот резистор совместно с C_H образует дополнительный высокочастотный нуль передаточной функции, т.е. влияет на величину τ_0 , то может потребоваться дополнительная подстройка цепи коррекции и затем снова резистора R

Повышения быстродействия ОУ, работающих в режиме динамической перегрузки, можно добиться применением дополнительного высокочастотного канала [2], что приводит к существенному усложнению схемы. В амплитудных АЦП при больших $C_{\text{н}}$ целесообразно применять двухканальные ЗУ с ООС, построенные по принципу комбинированного регулирования, в которых относительно просто реализуется квазиинвариантность $\zeta_{\text{с}}$ к форме входного сигнала [3,4]. В случае, если быстродействие определяется скоростью перезаряда корректирующей ёмкости, то указанный метод применяется в отношении этой ёмкости. На основании приведенных рекомендаций были рассчитаны и проверены схемы расширителей, имеющих следующие характеристики: в схеме на ОУ типа IUT401B $t_{\text{мин}} = 3,2$ мкс., $\zeta_{\text{вх}} = 10$ мВ - 5 В, основная погрешность - 0,1 - 0,15%. Расширение динамического диапазона до 8В. обеспечивает ОУ IUT531, но при этом $t_{\text{мин}} = 4,2$ мкс. Использование двухканального ЗУ уменьшает $t_{\text{мин}}$ до 0,8-0,9 мкс. при сохранении остальных параметров. Дополнительная погрешность расширителей не более 0,3% в диапазоне $\pm 60^{\circ}\text{C}$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Проектирование и применение операционных усилителей. Пер. с англ. Под ред. Д.Грэма, М., "Мир", 1974, 510 стр.с илл.
2. Анясимов Б.И., Капитонов М.В., Соколов Ю.М. Быстродействие транзисторных операционных усилителей в режиме динамической перегрузки. "Автоматика и телемеханика", 1974, № 2, с. 170-178.
3. Иоффе В.Г., Лиходедов А.П., Шеничников Ю.В. Зарядное устройство с отрицательной обратной связью. Авт.св. № 441629, Булл. изобр. № 32, 1974, с. 133.
4. Иоффе В.Г., Шеничников Ю.В. Амплитудно-временной преобразователь одиночных импульсов. "Приборы и техника эксперимента", 1973, № 5, с. 136-138.