

более яркие вехи, штрихи, отдельные черточки того сценария, который пишется на наших глазах и который можно назвать завтрашним днем энергетики. Рассказ об энергии может быть бесконечен, неисчислимы альтернативные формы ее использования при условии, что мы должны разработать для этого эффективные и экономичные методы. Посему нам следует лишь согласиться с тем, что сказал ученый мудрец, имя которого осталось неизвестным: «Нет простых решений, есть только разумный выбор».

### Литература

1. Энергетические ресурсы мира / Под ред. П.С. Непорожного, В.И. Попкова. – М.: Энергоатомиздат, 1995.
2. Огородников, И.А., Огородников, А.А. На пути к устойчивому развитию: экодом // Сборник материалов. – М.: Социально-экологический союз, 1998.
3. Лаврус, В.С. Источники энергии. – К.: НиТ, 1997.

УДК 669.018

## УСИЛИТЕЛИ МОЩНОСТИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ В РЕЖИМЕ РАБОТЫ КЛАССОВ D И T

Яночкин М.Н.

Научный руководитель – МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Все усилители делятся на десять классов – **A, B, AB, C, D, T, E, G, H** и **S** по определенной группе признаков. Классификация наиболее используемых усилителей представлена на рисунке 1.

Усилители подразделяют на аналоговые (линейные) и цифровые в зависимости от режима работы выходного каскада. Выходной каскад цифровых усилителей работает в импульсном режиме. Линейные усилители подразделяются на классы в зависимости от времени, в течение которого выходной каскад находится в активном режиме, и по изменению напряжения питания в зависимости от величины входного сигнала.

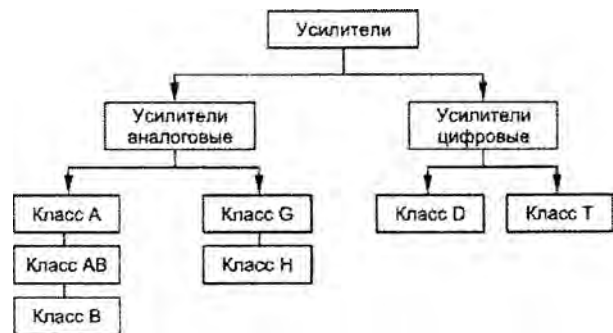


Рисунок 1. Классификация наиболее используемых усилителей

**Режим работы класса А.** Активный элемент (транзистор или лампа) открыт весь период сигнала. Усилители мощности класса **A** вносят минимальные искажения в усиливаемый сигнал, но имеют очень низкий КПД ( $\leq 50\%$ ). Они используются в одноконтурных и двухконтурных усилителях мощности звуковой частоты (УМЗЧ) в основном для среднечастотных динамиков, где особенно важно, чтобы уровень нелинейных искажений был низким. Усилители класса **A** – самые неэкономичные.

**Режим работы класса В.** Активный элемент (транзистор или лампа) открыт только один полупериод входного сигнала. Усилители класса **B** имеют высокий КПД, до  $78\%$ , но и коэффициент нелинейных искажений у них заметно выше. Обычно они используются при работе на резонансную нагрузку, в которой выделяется лишь первая гармоника, а остальные подавляются, и, кроме того, в двухконтурных УМЗЧ для среднечастотных динамиков и динамиков mid-bass [1].

**Режим работы класса АВ.** Активный элемент (транзистор или лампа) в этом режиме открыт один полупериод полностью и часть другого полупериода входного сиг-

нала. Режим класса **AB** – это нечто среднее между классами **A** и **B**. Усилители класса **AB** имеют более высокий КПД, чем усилители класса **A**, но вносят в сигнал меньшие нелинейные искажения, чем усилители класса **B**. Это наиболее распространенный класс массовых УМЗЧ [2].

**Классы G и H** – усилители с изменяемым напряжением питания.

Особенность усилителя **класса G** в том, что он содержит два каскада, работающих при разных напряжениях питания. Первый каскад (использующий источник питания с низким уровнем напряжения) работает, когда входной сигнал не превышает определенного порогового значения. Когда входной сигнал становится больше этого значения, транзисторы первого каскада переходят в насыщение, и включается второй каскад (работающий от источника с высоким уровнем напряжения). Усилитель большую часть времени работает как относительно маломощный, изредка подключая мощный второй каскад, т. е. КПД его сравнительно высокий.

**Класс H** схож с классом **G**, но отличается от него тем, что не имеет двух установленных уровней напряжения питания. Напряжение питания в этом классе определяется уровнем входного сигнала, тем самым, обеспечивая оптимальную работу транзисторов. Усилитель этого класса содержит два каскада – первый класса **B** (получающий питание от обычного источника) и второй, напряжение питания которого зависит от уровня входного сигнала. КПД усилителей такого класса сравним с КПД усилителей класса **G**.

Рассмотрим теперь непосредственно усилители низкой частоты в режиме работы классов **D** и **T** [3].

**Режим работы класса D.** В режиме работы класса **D** происходит преобразование входного сигнала в импульсы прямоугольной формы одинаковой амплитуды, длительность которых пропорциональна значению сигнала в каждый заданный момент времени (т. н. ШИМ – широтно-импульсная модуляция). Активные элементы выходного каскада при этом работают в ключевом режиме и имеют два состояния: транзистор или заперт, или полностью открыт. Усилители класса **D** имеют высокий КПД, т. к. основные потери энергии на выходных мощных ключах происходят только в момент переключения, в открытом состоянии потери энергии минимальны и будут тем меньше, чем меньше сопротивление открытого ключа. Обычные усилители класса **D** имеют КПД более 90 % и достаточно большой коэффициент нелинейных искажений (около 10 %), но применение новых технологий позволяет снизить коэффициент нелинейных искажений до долей процента. Это заметно расширило область применения класса **D** в современных УМЗЧ.

Принципиальная схема простейшего УНЧ класса **D** представлена на рисунке 2.

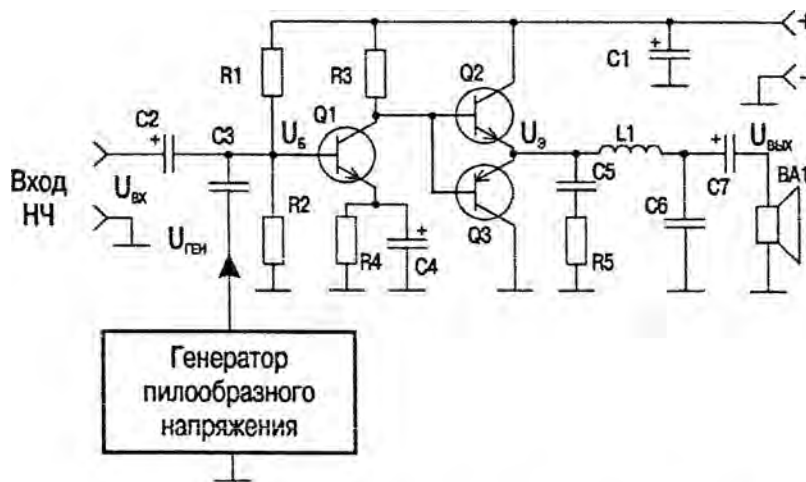


Рисунок 2. Принципиальная схема простейшего УНЧ класса **D**

Он состоит из широтно-импульсного модулятора (ШИМ) на транзисторе Q1, мощного двухтактного транзисторного ключа Q2, Q3 и фильтра нижних частот (ФНЧ), который отфильтровывает импульсные высокочастотные составляющие тока через громкоговоритель. Делитель на резисторах R1 и R2 задаёт напряжение смещения Q1 и симметрию всей схемы. Резистор R3 является нагрузкой транзистора Q1. Резистор R4, шунтированный конденсатором C4, осуществляет эмиттерную температурную стабилизацию этого транзистора. Конденсатор C1 – это фильтр питающего напряжения. Цепь C5-R5-L1-C6 – фильтр нижних частот. Конденсаторы C2 и C7 – разделяют вход и выход усилителя по постоянному току и объединяют по переменному. В состав усилителя класса D входит также генератор треугольного или пилообразного напряжения. Частота работы этого генератора лежит, как правило, в пределах 200–600 кГц. Размах «пилы» от генератора и коэффициент усиления каскада на Q1 выбраны так, чтобы выходные транзисторные ключи Q2 и Q3 открывались попеременно до насыщения при переходе напряжения «пилы» через ноль.

На рисунке 3 изображены эпюры напряжений простейшего УМЗЧ класса D.

До какого-то момента времени звуковой сигнал на входе отсутствует. «Пила» абсолютно симметрична, и на эмиттерах транзисторов Q2 и Q3 образуются симметричные прямоугольные импульсы – меандр. При подаче на вход усилителя сигнала НЧ «пила» будет смещаться вверх или вниз. Изменяются моменты отпираания транзисторов и, как следствие, длительность выходных импульсов и пауза между ними (рисунок 3). Эти параметры будут изменяться по закону входного низкочастотного (звукового) сигнала. Полученный импульсный сигнал с переменной скважностью называют широтно-импульсным, или ШИМ-сигналом, а процесс его получения – широтно-импульсной модуляцией. ШИМ-сигнал содержит НЧ-составляющую, по форме повторяющую модулирующий сигнал. Если ШИМ-сигнал с выхода транзисторных ключей пропустить через ФНЧ, то он пропустит эту составляющую на громкоговоритель и подавит ВЧ-составляющие ШИМ-сигнала. За счёт неполного подавления ВЧ-составляющей переменное напряжение на громкоговорителе будет несколько изрезанным, что можно увидеть на увеличенном фрагменте к нижнему графику. Изрезанность уменьшается с увеличением

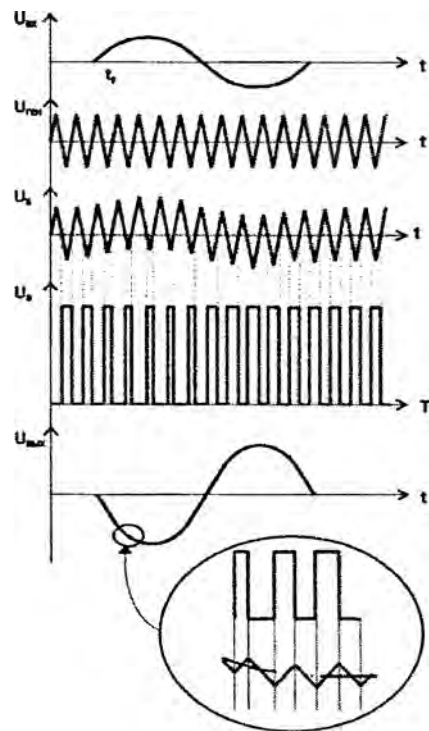


Рисунок 3. Эпюры напряжений простейшего УМЗЧ класса D

частоты генератора ШИМ, улучшением качества ФНЧ и применением некоторых ноу-хау, которые тщательно оберегают фирмы-производители микросхем усилителей класса D [1].

Блок-схема усилителя с режимом работы в этом классе представлена на рисунке 4.

Усилители класса D на биполярных транзисторах уходят в

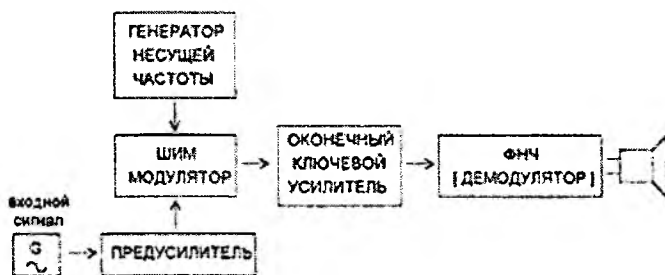


Рисунок 4. Блок-схема усилителя класса D

прошлое. Основой современного УМЗЧ класса **D** являются мощные ключи на МДП-транзисторах, отличающиеся высоким быстродействием и низким сопротивлением канала в открытом состоянии. При использовании таких транзисторов в ключевом режиме достигается высокий КПД.

Усилители класса **D** обладают целым рядом достоинств, включая малые потери, низкую стоимость и небольшое количество навесных компонентов. Эффективность усилителей класса **D** примерно в три раза выше по сравнению с классом **AB**, что делает их перспективными для использования в мобильной аппаратуре. Основные недостатки усилителей этого класса – нелинейные искажения и высокочастотные помехи, создаваемые транзисторами при работе в ключевом режиме [4].

С приходом УНЧ с режимом работы класса **T** стало возможным одновременно получить высокий КПД (близкий классу **D**), минимальные нелинейные искажения, высокую точность воспроизведения (как в усилителях класса **A**) при выходной мощности несколько сот Вт. Удалось также снизить стоимость усилителей за счет менее жестких требований к источникам питания, выходным фильтрам и устройствам охлаждения.

Принцип работы УНЧ класса **T** похож на класс **D**, только вместо аналоговой обратной связи с выхода фильтра используется цифровая обратная связь в обход выходного фильтра. Таким образом, в усилителе класса **T** из цепи отрицательной обратной связи исключается задержка сигнала, связанная с постоянной времени выходного фильтра [3].

Если в классе **D** применяют ШИМ и используется фиксированная частота, то в классе **T** выходные транзисторы коммутируются на псевдослучайной частоте, которая зависит от уровня входного сигнала. Новая схема модуляции позволяет получить в цифровых усилителях сверхмалые нелинейные искажения при высоком КПД, что практически невозможно в других устройствах.

Структурная схема усилителя класса **T** представлена на рисунке 5.



Рисунок 5. Структурная схема усилителя класса **T**

Усилитель состоит из сигнального процессора и выходного блока. Входной каскад осуществляет нормирование аналогового сигнала, который затем поступает на блок цифровой обработки GPP, состоящий из процессора подготовки адаптивного сигнала, схемы цифрового преобразования, а также схем заглушения, защиты от перегрузки по току и напряжению и обнаружения неисправностей. В блоке GPP аудио сигнал модулируется и поступает на мощные транзисторы. На выходе усилителя включен фильтр нижних частот, который отфильтровывает частоту модуляции и восстанавливает усиленную версию входного аудио сигнала на динамиках.

Учитывая приведенные сведения, тенденцию к миниатюризации аппаратуры, широкое распространение мобильных устройств с батарейным питанием, требующих увеличения срока действия аккумуляторов и батарей, а также совершенствование техноло-

гических процессов, можно сделать вывод, что наибольшее распространение в ближайшем будущем получат УНЧ в режиме работы класса Т.

### Литература

1. <http://www.soel.ru/content/cms/f/?/311511.pdf>
2. <http://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=28024>.
3. <http://rus.625-net.ru/audioproducer/2006/03/usilit1.htm>.
4. [http://www.elcp.ru/index.php?state=izd&i\\_izd=elcomp&i\\_num=2000\\_05&i\\_art=04](http://www.elcp.ru/index.php?state=izd&i_izd=elcomp&i_num=2000_05&i_art=04).
5. <http://www.bluesmobil.com/shikhman/arts/t-class.htm>.

УДК 621.3

## МОДЕЛЬ БЕГУЩЕЙ СТРОКИ В ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАБОРАТОРИИ

*Плехов А.В., Шмыгун Е.Я.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент БЛАДЫКО Ю.В.

Постановка задачи. Создание бегущей строки в Electronics Workbench: на шести индикаторах должна бежать надпись «106224».

Прежде всего, определим количество состояний бегущей строки.

Состояния индикаторов бегущей строки

					1
				1	0
			1	0	6
		1	0	6	2
	1	0	6	2	2
1	0	6	2	2	4
0	6	2	2	4	
6	2	2	4		
2	2	4			
2	4				
4					

Таблица истинности для первого индикатора

Символ	Входы				Выходы							
	$X_3$	$X_2$	$X_1$	$X_0$	$F_0$	$F_1$	$F_2$	$F_3$	$F_4$	$F_5$	$F_6$	
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	
6	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	
2	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1	
2	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	1	
4	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	
	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	