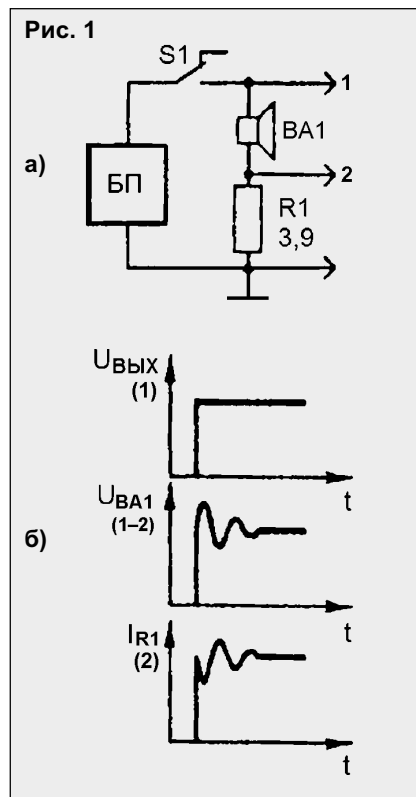


Об отрицательном выходном сопротивлении УМЗЧ

А.ПЕТРОВ,
г.Могилев.

При написании книги [1] я сделал простой эксперимент для исследования влияния выходного сопротивления УМЗЧ на поведение электродинамической головки (ЭДГ) при подаче на нее импульсного сигнала. Этот эксперимент очень прост, и его могут проделать все желающие, имеющие в распоряжении осциллограф. Для этого достаточно собрать схему на **рис.1а**.



В качестве громкоговорителя BA1 была использована 4-омная головка. Сопротивление R1 взято примерно равным омическому сопротивлению головки. На верхней осциллограмме (**рис.1б**) приведено входное напряжение от блока питания (БП). Следующая осциллограм-

ма показывает напряжение на нагрузке U_{BA1} , измеренное непосредственно на громкоговорителе. Как видно из осциллограммы, U_{BA1} , достигнув примерно половины поданного, продолжает расти за счет продолжающегося движения диффузора по инерции и выработки соответствующего напряжения. Это напряжение, замыкаясь через резистор R1 на источник питания, вызывает торможение диффузора и приводит к зеркальному изменению тока в цепи, что видно по напряжению на резисторе R1.

Колебания напряжения и тока в нагрузке происходят с частотой основного резонанса подвижной системы ЭДГ. Чем меньше сопротивление резистора R1, тем короче процесс установления, и наоборот.

Если воспользоваться микрофоном, все то же самое можно увидеть и по звуковому давлению. Чем больше сопротивление R1, тем больше амплитуда паразитных колебаний и их продолжительность, а также тем менее точно будут передаваться огибающие сигналов.

Если в качестве испытательного взять короткий импульс, то положение с ростом сопротивления R1 только ухудшается, поскольку затягивается обратный фронт, что приводит к фазовым искажениям по звуковому давлению. А ведь именно в точности передачи фазовых составляющих скрыта информация о кажущихся источниках звука (КИЗ), о направлении на них, а значит, и о расстоянии до них.

Музыкальный сигнал — далеко не синусоидальный. А только на синусоидальных сигналах при установившихся процессах можно наблюдать кажущееся улучшение при ра-

боте от УМЗЧ с высоким выходным сопротивлением.

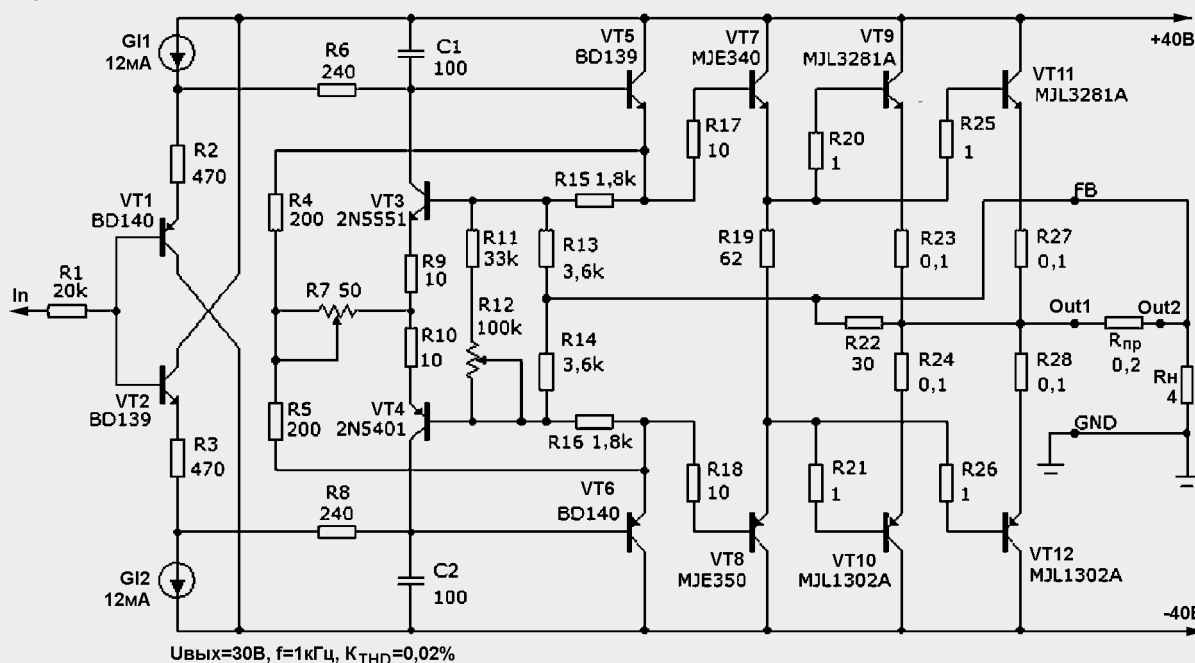
Обратимся к схеме УМЗЧ с корректором Хауксфорда из [2]. Как видно из **рис.2**, схема претерпела небольшие изменения:

- добавлен резистор R7 для регулировки выходного сопротивления;
- введен R12 для подстройки тока покоя выходных транзисторов (в пределах 80...120 мА);
- добавлены R9 и R10 для снижения искажений корректора;
- использованы спаренные выходные транзисторы VT9...VT12;
- сделан третий выход (FB) на акустическую систему для контроля сигнала ошибки непосредственно на нагрузке.

Этот прием использован из профессиональной практики разработки печатных плат. Обычно сигнал ОС стараются взять непосредственно с выхода (контрольной точки на плате, контакта выходного разъема). Если взять сигнал ОС (сигнал ошибки) для корректора непосредственно с нагрузки, то можно сбалансировать корректор так, чтобы получить нулевое выходное сопротивление на нагрузке с учетом акустических проводов. При этом искажения выходного каскада (ВК) можно существенно уменьшить.

Сопротивление акустических проводов условно обозначено как $R_{пр}$. Сигнал ОС можно подать с помощью витой пары (с небольшим сечением проводников), входы которой распаять между выходом ВК и входом FB (feed back), а выходы объединить и распаять на втором конце акустического кабеля. Резистор R22 служит для поддержания режима работы корректора при отключенной АС.

Рис. 2



Настройка корректора заключается в том, чтобы получить коэффициент передачи ВК со входа до нагрузки строго равным 1 ($0 \pm 0,1$ дБ) с помощью резистора R7. Диаграмма Боде для этого случая (рис.3) показывает, что напряжение на выходе ВК на 0,4 дБ выше, чем на нагрузке, что говорит об отрицательном выходном сопротивлении. Чтобы убедиться в этом, достаточно замкнуть вход ВК на общий провод, а на выход подать сигнал амплитудой 4 В от генератора через резистор R_н. Как видно из рис.4, напряжение на выходе ВК противоположно по фазе с входным и имеет амплитуду примерно в 20 раз меньше, что соответствует выходному сопротивлению, примерно равному сопротивлению проводов R_{np}=0,2 Ом.

Для большей наглядности эффективности отрицательного выходного сопротивления сделаем следующий эксперимент. Возьмем второй мощный генера-

Рис. 3

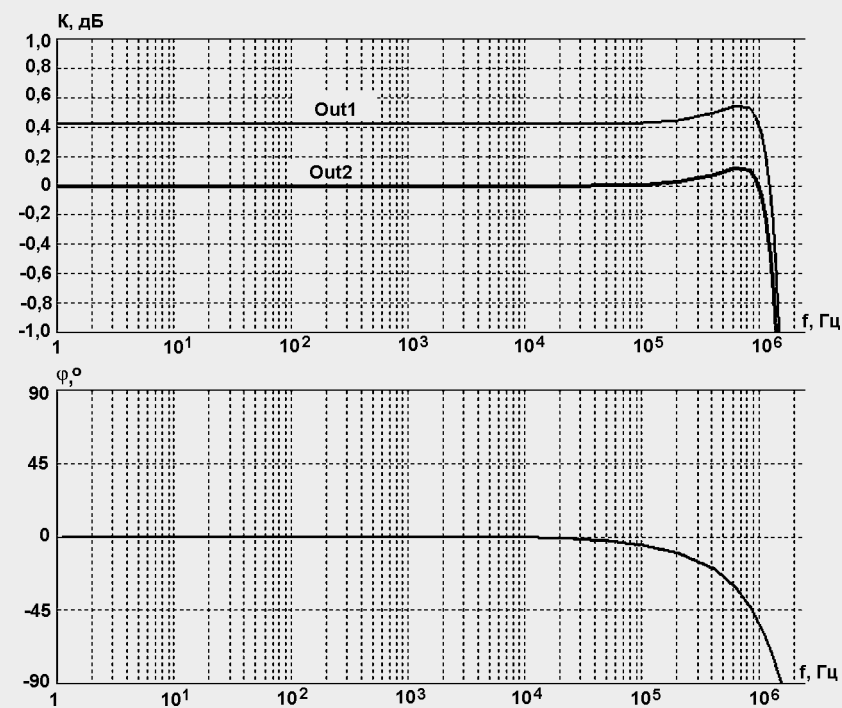


Рис. 4

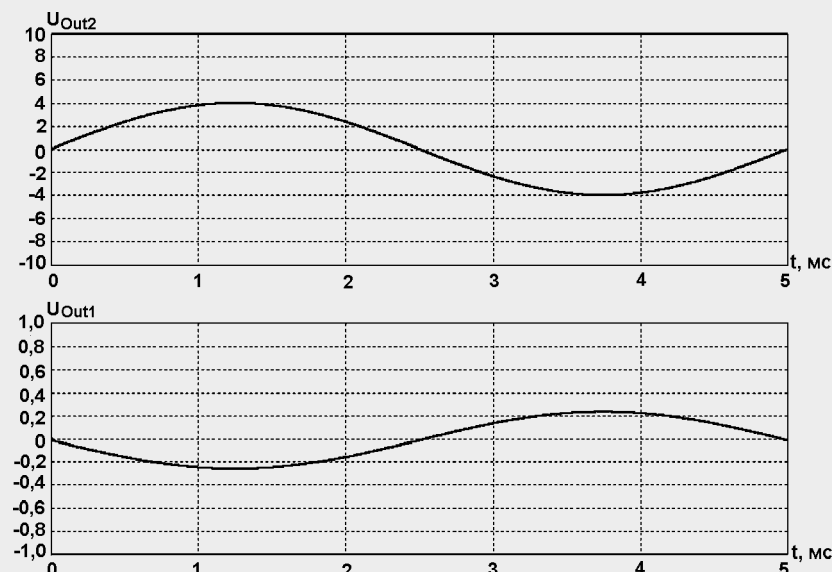
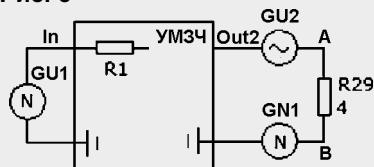
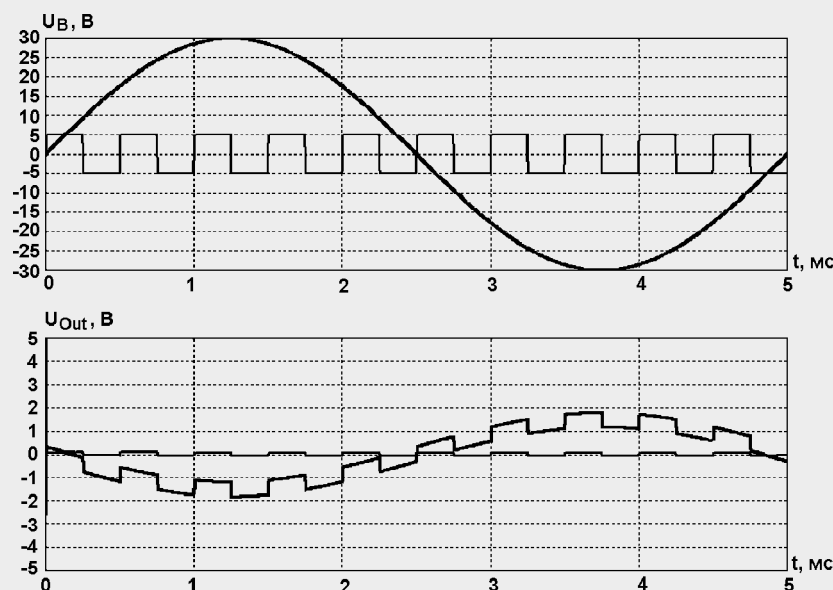


Рис. 5



тор сигналов GU2 с такой же частотой и амплитудой выходного напряжения, как и генератор входного сигнала GU1 и синхронный с ним. Последовательно с ним через резистор R29 включим импульсный генератор GN1 с частотой импульсов 2 кГц и амплитудой

Рис. 6



дой 5 В (рис.5). Схему испытания можно упростить, если генератор GN1 включить последовательно с нагрузкой R_н (рис.2).

Частота импульсного генератора выбрана в области наибольшей чувствительности слуха, в этой же области наблюдается и наибольшая токовая нагрузка выхода ВК со стороны реальных АС. Частоту синусоидальных генераторов возьмем равной 200 Гц. В этом случае, поскольку синусоидальные генераторы синфазны и имеют одинаковое напряжение, генератор GU2 не оказывает влияние на выход ВК, а дополнительную нагрузку создает только генератор GN1, имитируя нагрузку ВК от АС. Снимем осциллограмму разностного напряжения между входом и выходом ВК и между входом и напряжением на нагрузке (рис.6).

На нижнем графике жирной линией показана разница между входным напряжением и напряжением на выходе ВК (сигнал ошибки за счет акустического кабеля), а тонкой линией — между входом и нагрузкой. Из рисунка видно, что, благодаря отрицательному выходному сопротивлению ВК, влияние генератора GN1 на работу каскада максимально ослаблено, и ВК с отрицательным выходным сопротивлением максимально точно передает сигнал со входа до нагрузки.

Аналогичные эксперименты можно провести с другими ВК, в том числе, и с работающими в классе А. Будете приятно удивлены полученными результатами.

Литература

1. Петров А.А. Звуковая схемотехника для радиолюбителей. — НиТ, 2003.
2. А.Петров. БезОСный УМЗЧ с отрицательным выходным сопротивлением. — Радиомир, 2013, №9, С.3.