

Триодный однотакт с пентодным управлением - 2

В Интернете, особенно русскоязычном, можно найти много схем ламповых усилителей на стабилизаторных триодах: 6Н5С, 6Н13С, 6С19П, 6С33С, 6С41С, ЕС360. Первые две используются больше в двухтактных схемах, остальные в однотактных.

Звучание этих ламп довольно сбалансированное, сами они недефицитны, требования к выходным трансформаторам не очень жесткие (за счет низкого внутреннего сопротивления ламп), что делает доступным повторение таких усилителей широким кругом радиолюбителей и любителей музыки.

При разработке была поставлена цель: создать однотактный усилитель на стабилизаторном триоде без разделительных конденсаторов с фиксированным смещением выходной лампы, легко повторяемый и простой в настройке. Дополнительно наложился ограничения по питающим трансформаторам: доступными оказались только маломощные ТН и самые низковольтные ТА – с обмотками на 6 и 28 Вольт, это ТН30, ТА11 и ТА88. Я думаю, что аналогичная ситуация не только в нашем городе, когда невозможно приобрести готовые высоковольтные трансформаторы, а легко доступны низковольтные.

Схема усилителя приведена на рис. 1.

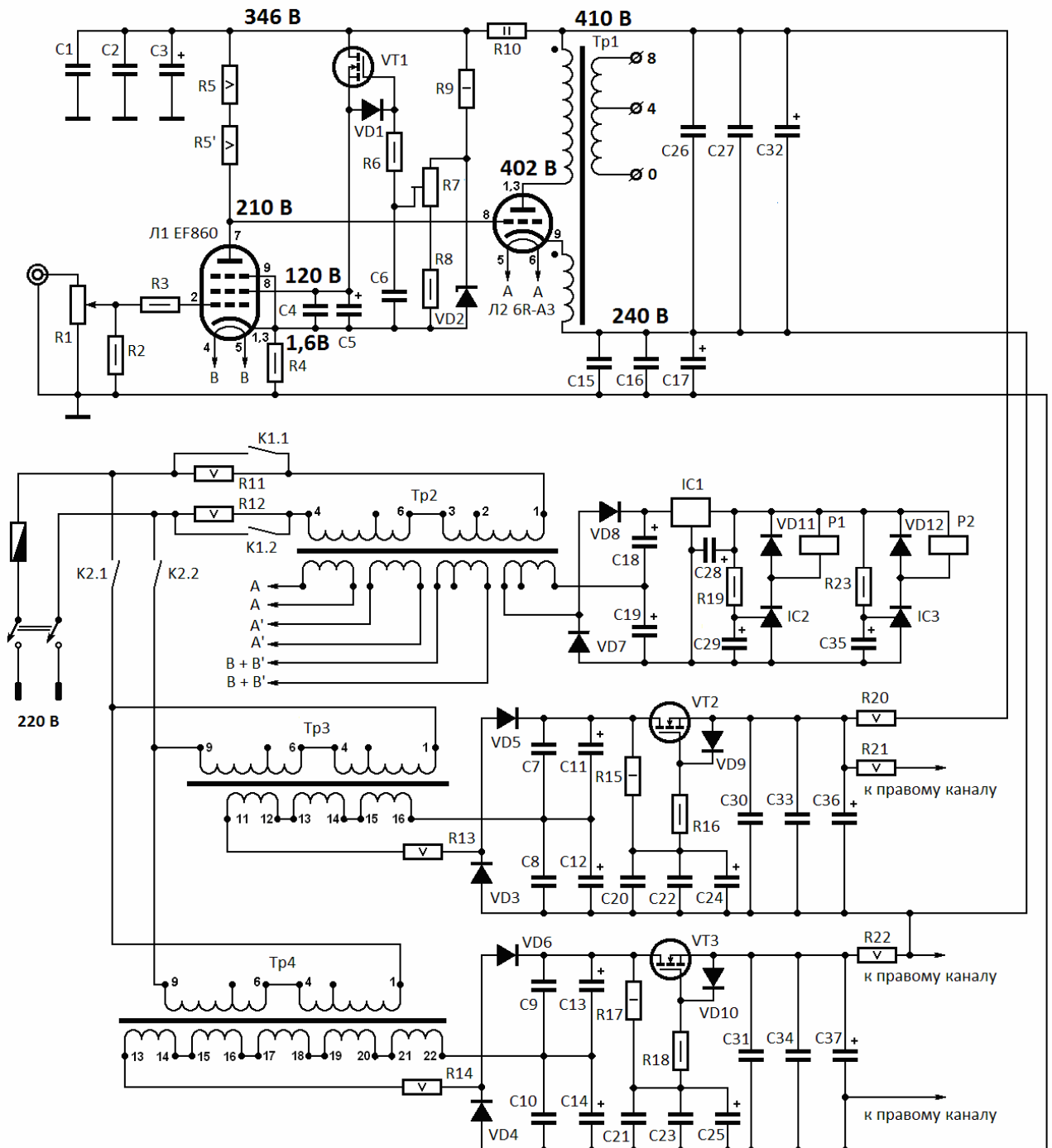


Рис. 1 Схема усилителя

C1, C15, C20, C21, C26, C30,		R11, R12	– 470 Ом, С5-16В, 5 Вт;
C31	– 0,01 мкФ, 250 В, КСО;	R13	– 4,7 Ом, С5-16В, 5 Вт;
C2, C4, C6...C10, C16, C22,		R14, R20...R22	– 30 Ом, С5-16В, 5 Вт;
C23, C27, C33, C34	– 0,1 мкФ, МКР;	R15	– 150 кОм, МЛТ-0,5;
C3	– 150 мкФх400 В;	R16, R18	– 200 Ом, МЛТ-0,5;
C5, C24, C25	– 22 мкФх250 В;	R17	– 240 кОм, МЛТ-0,5;
C11, C12	– 1000 мкФх160 В;	R19	– 150 кОм, МЛТ-0,5;
C13, C14	– 470 мкФх160 В;	R23	– 240 кОм, МЛТ-0,5;
C17	– 1000 мкФх250 В;	VD1, VD7...VD12	– 1N4007;
C18, C19	– 1000 мкФх16 В;	VD2	– BZX150;
C28	– 1000 мкФх16 В;	VD3...VD6	– BYV26;
C29, C35	– 1000 мкФх10 В;	VT1...VT3	– STP9NK50ZP;
C32	– 680 мкФх200 В;	IC1	– 7812;
C36	– 470 мкФх200 В;	IC2-IC3	– TL431;
C37	– 220 мкФх250 В;	Tr1 –	
R1	– 20 кОм; ППЗ-40;	Tr2	– TH30;
R2	– 12 кОм, ВС-0,5;	Tr3	– TA11;
R3	– 100 Ом, ВС-0,5;	Tr4	– TA88;
R4	– 180 Ом, ВС-0,5;	L1	– EF860;
R5, R5' – 11 кОм, ERG 5 SJ Matsushita		L2	– 6R-A3;
R6	– 180 Ом, МЛТ-0,5;		
R7	– 100 кОм;		
R8	– 82 кОм, МЛТ-0,5;		
R9	– 150 кОм, МЛТ-1;		
R10	– 6,2 кОм, МЛТ-2;		

В качестве выходной используется лампа 6R-A3, триод, предназначенный для работы в стабилизаторах напряжения производства Nippon Electric Company, имеющий немного отличные от 6С19П характеристики (несколько большая мощность, рассеиваемая на аноде, усиление и меньшее внутреннее сопротивление).

Драйвером был выбран пентод EF860 в родном включении, так как он отлично себя зарекомендовал в этой роли совместно с выходной лампой 6С4С.

Для питания накалов ламп используются три обмотки накального трансформатора Tr2, четвертая обмотка используется для питания блока автоматического включения усилителя. При включении усилителя напряжение сети через резисторы R11 и R12 подается на Tr2. Резисторы выбраны так, что на накальных обмотках ламп напряжение стартует примерно с 2 Вольт. Одновременно через удвоитель VD7, VD8, C18, C19 напряжение подается на блок автоматического включения усилителя. Примерно за 6 - 7 секунд напряжение на накалах растет до 4,5 – 5 Вольт, одновременно растет и питающее напряжение на блоке автоматического включения усилителя. Оно стабилизируется на уровне 12 В микросхемой IC1. Через резисторы R19 и R21 заряжаются конденсаторы C29 и C35. При достижении на них уровня напряжения 2,5 В открываются выходные ключи микросхем: IC2 через 30 сек., а IC3 примерно через 1 мин. Поочередно включаются реле P1 и P2. Контакты первого замыкают резисторы R11 и R12, подавая полное напряжение накала на лампы, контакты второго подключают к сети анодные трансформаторы Tr3 и Tr4.

Первичные обмотки этих трансформаторов используются полностью, т. е. на 264 В, что заметно снижает ток холостого хода и наводки от трансформаторов при работе от обычной сети напряжением 220 В.

Напряжения с вторичных обмоток каждого трансформатора подаются на соответствующие удвоители напряжения и электронные дроссели. Далее через RC фильтры питание подается на каждый канал усилителя. Резисторы R15 и R17 выбраны так, что напряжения нижнего плеча питания растут быстрее, поэтому драйверная лампа обеспечивает такой режим выходной лампы, что ее анодный ток плавно нарастает от нуля до номинального. Такая организация питания обеспечивает пульсации постоянного напряжения порядка 1 мВ при суммарном потреблении по верхнему плечу питания около 180 мА. По нижнему плечу усилитель потребляет около 20 мА. Эти меры совместно с правильной разводкой обеспечили полное отсутствие фона переменного тока в акустике чувствительностью 92 дБ/Вт.

Напряжение второй сетки драйверного пентода стабилизировано относительно катода, на выходе этого стабилизатора конденсатор относительно большой емкости. Эти меры позволили исключить завал по НЧ, имеющий место при организации смещения второй сетки с помощью

резистора и конденсатора (даже такой же емкости). Кроме того, с помощью этого стабилизатора мы можем менять анодное напряжение на драйвере и подстраивать таким образом режим выходной лампы.

Выходной каскад выполнен по схеме с общим катодом. В нем применена местная обратная связь с помощью катодной обмотки выходного трансформатора. Как показала практика, катодная обмотка в трансформаторе значительно улучшает качество выходного сигнала и звучание усилителя в целом.

Немного остановимся на выходном трансформаторе.

Из тех немногих данных, что удалось почерпнуть из Интернета, стало известно, что в режиме $U_a = 150 \text{ В}$, $I_a = 100 \text{ мА}$ внутреннее сопротивление 6R-A3 составляет 375 Ом. Наш режим: $U_a = 160\text{-}165 \text{ В}$, $I_a = 80 \text{ мА}$. Долго не заморачиваясь, примем $R_i = 450 \text{ Ом}$. Для $\alpha = 5 - 6$ принимаем R_a выходного трансформатора равным 2,5 кОм.

Для изготовления трансформатора был использован двойной магнитопровод ШЛ20х24, фактически ШЛ20х48 из электротехнической стали Э3412.

Расчеты дали следующие результаты: первичная обмотка состоит из 2250 витков, катодная обмотка – 125, вторичная - для 8 Ом – 140 витков, для 16 Ом добавляется 55 витков. Диаметры проводов и варианты конструкции выходных трансформаторов приведены ниже.

Были опробованы два варианта секционирования: вариант А - 1-2-2'-1-К-1-2-2'-1 и вариант Б - 1-2-2'-1-2-К-2'-1-2-2'-1 (этот вариант имеет больше на 1 виток во вторичной обмотке):

Вариант А

1 - 4 слоя по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
2 - 4 слоя по 70 витков ПЭТД-200 0,56 мм (все параллельно);
2' - 2 слоя по 55 витков ПЭТД-200 0,4 (в 2 провода);
1 - 5 слоев по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
К - 1 слой 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
1 - 5 слоев по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
2 - 4 слоя по 70 витков ПЭТД-200 0,56 мм (все параллельно);
2' - 2 слоя по 55 витков ПЭТД-200 0,4 (в 2 провода);
1 - 4 слоя по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;

Все первички и обмотки 2 последовательно, 2' - параллельно и последовательно с обмотками 2.

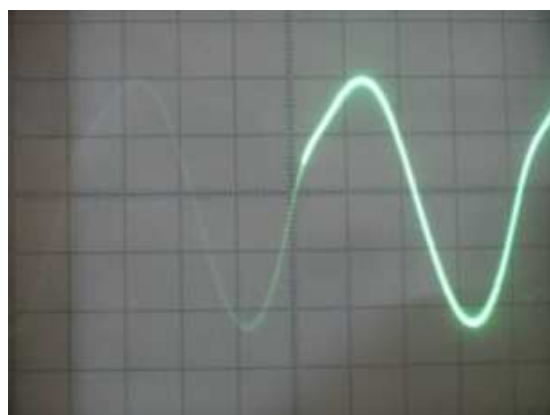
Вариант Б

1 – 3 слоя по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
2 - 3 слоя по 47 витков ПЭТД-200 0,45 (в 2 провода - слои параллельно);
2' - 1 слой 55 витков ПЭТД-200 0,4 (в 2 провода);
1 - 6 слоев по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
2 - 3 слоя по 47 витков ПЭТД-200 0,45 (в 2 провода - слои параллельно);
К - 1 слой 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
2' - 1 слой 55 витков ПЭТД-200 0,4 (в 2 провода);
1 - 6 слоев по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;
2 - 3 слоя по 47 витков ПЭТД-200 0,45 (в 2 провода - слои параллельно);
2' - 1 слой 55 витков ПЭТД-200 0,4 (в 2 провода);
1 - 3 слоя по 125 витков ПЭТД-200 0,315 мм;

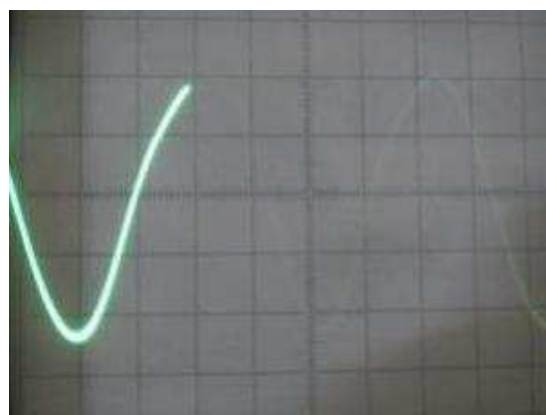
Все первички и обмотки 2 последовательно, 2' - параллельно и последовательно с обмотками 2. *Обмотки, выделенные курсивом, намотаны в обратную сторону.*

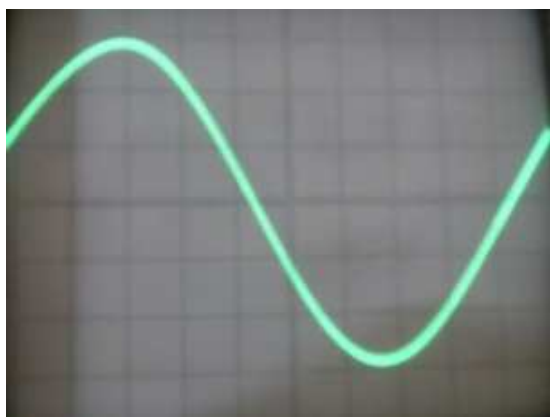
В одном и том же усилителе эти трансформаторы показали разные характеристики. Осциллограммы напряжений на нагрузке приведены ниже. Измерения проводились на нагрузке 16 Ом перед ограничением выходного напряжения ($U_{вх} = 0,45 \text{ В}$, $U_{вых} = 5,7 \text{ В}$, $R_{вых} = 2 \text{ Вт}$).

Вариант А

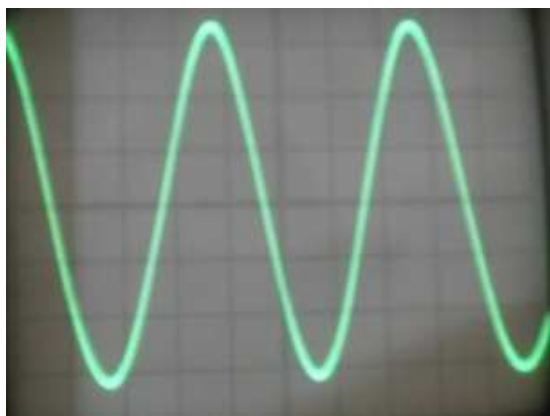
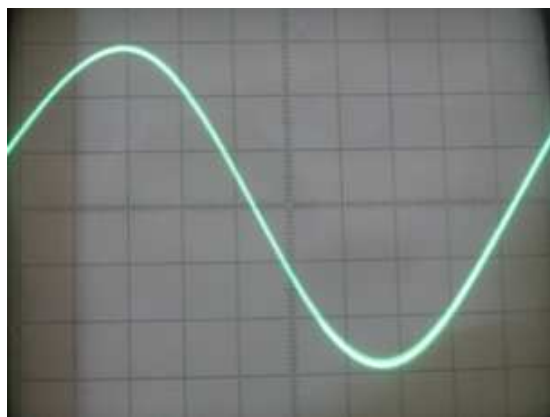


Вариант Б

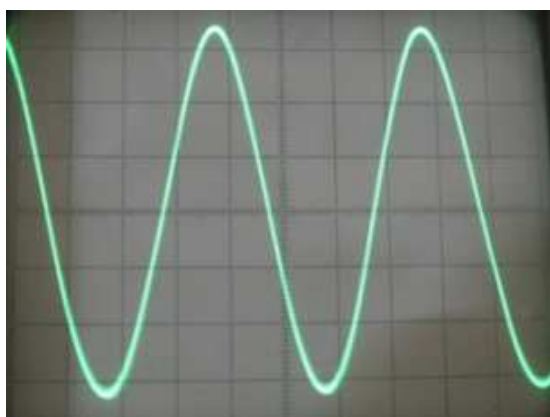
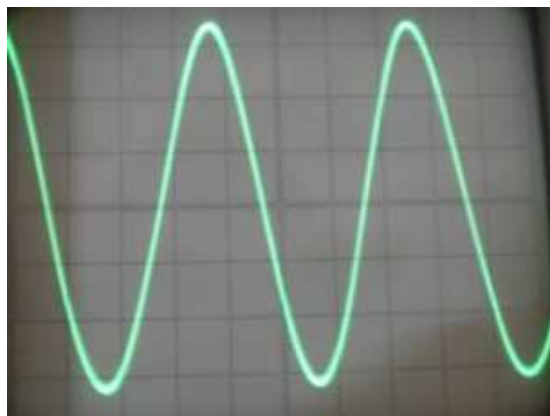




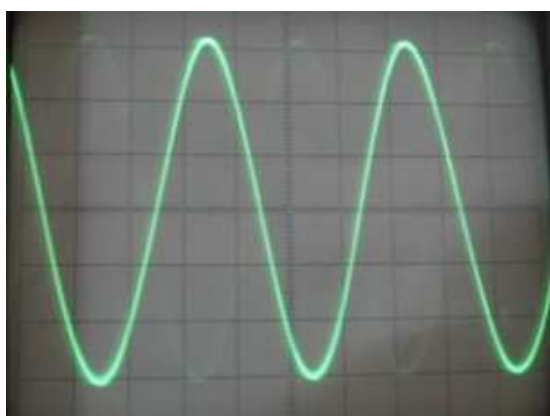
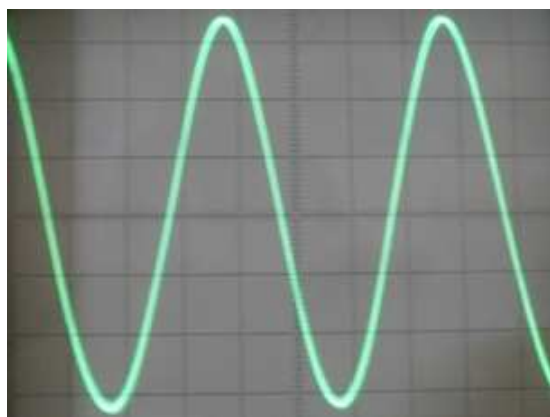
20 Гц



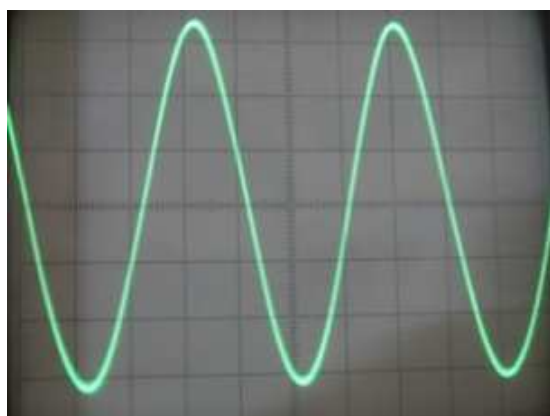
100 Гц

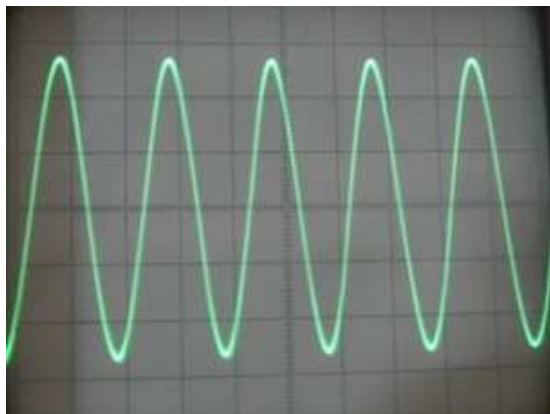


1 кГц

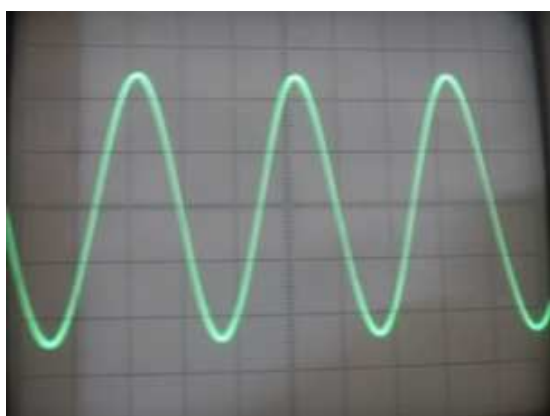
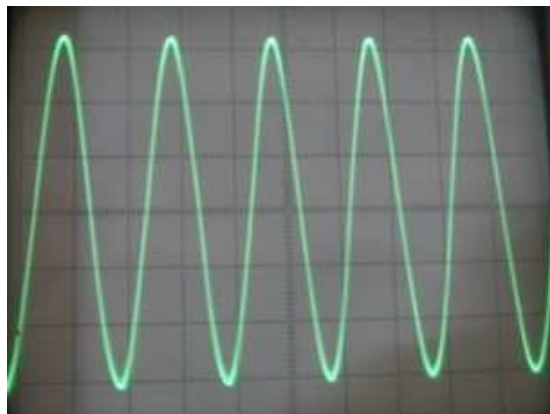


10 кГц

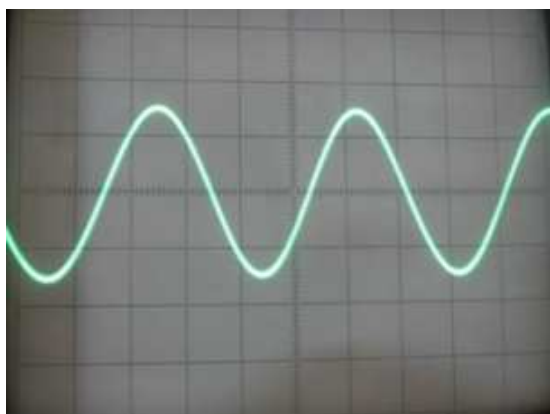
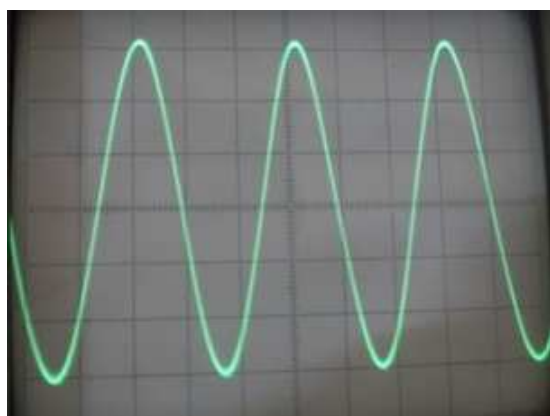




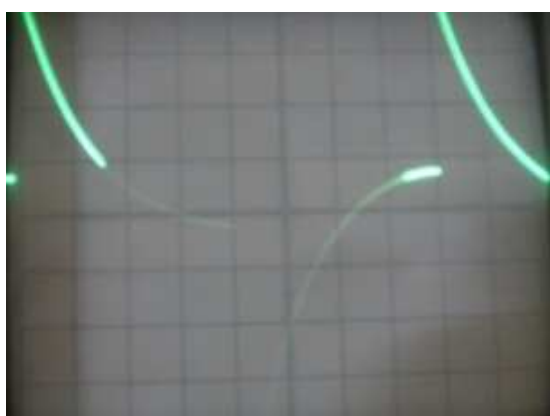
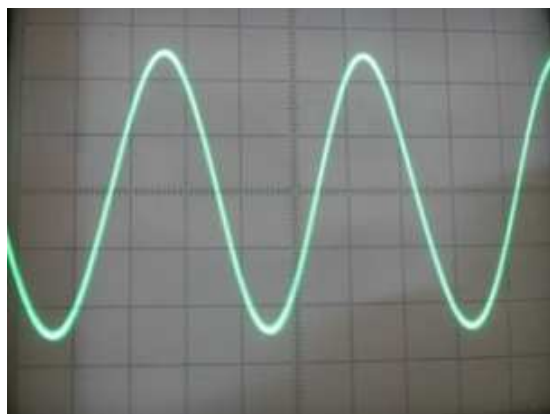
20 кГц



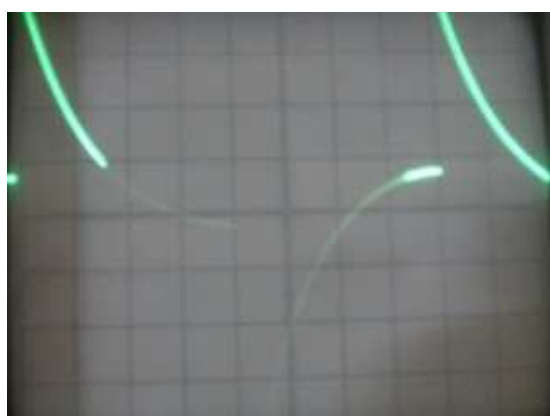
25 кГц

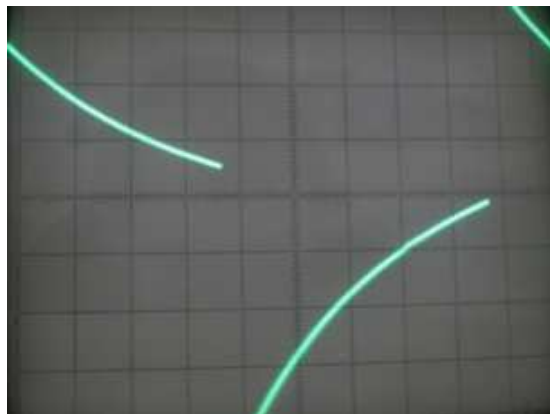
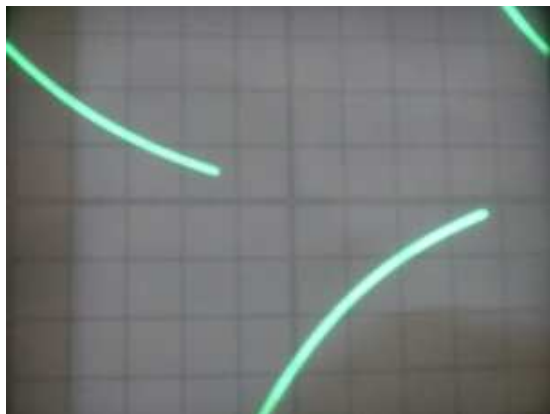


50 кГц

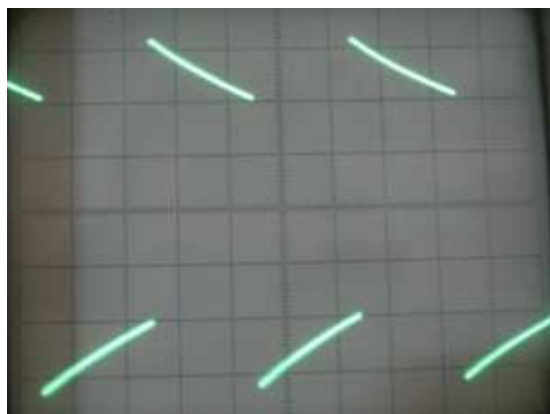
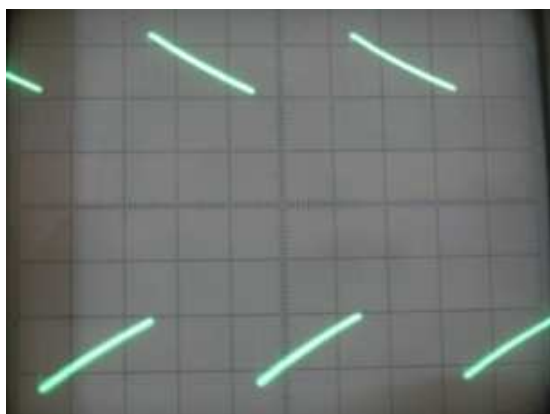


10 Гц

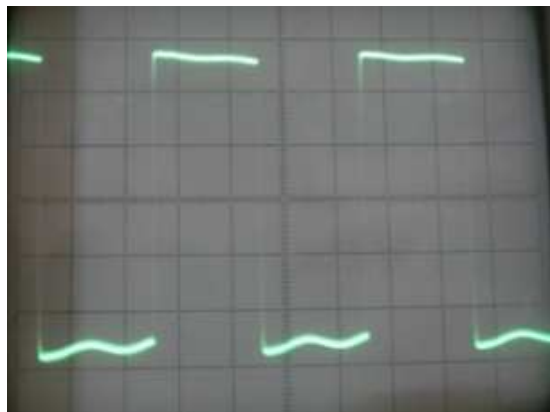
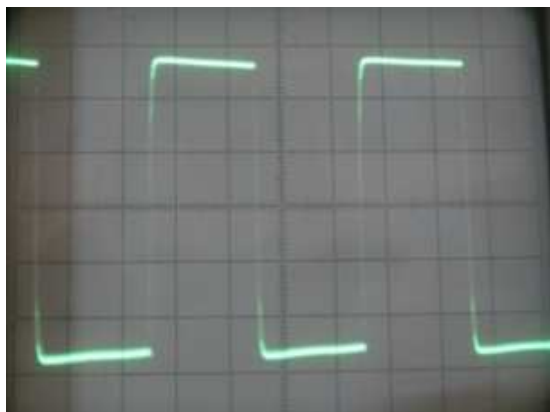




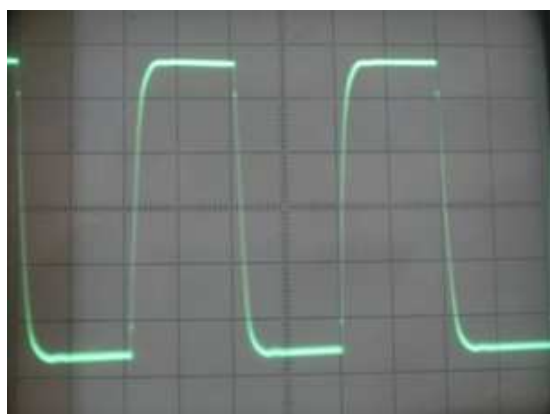
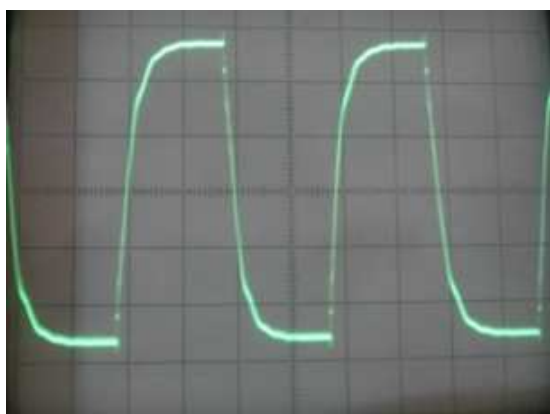
20 Гц



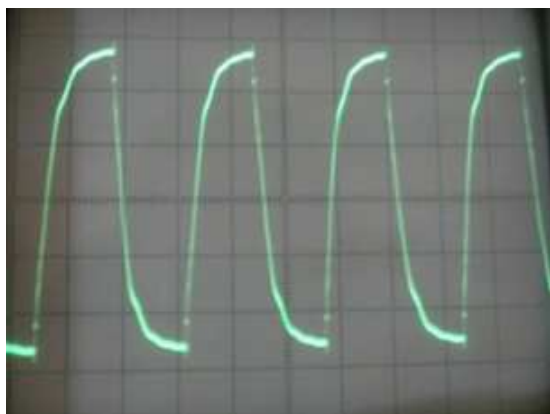
100 Гц



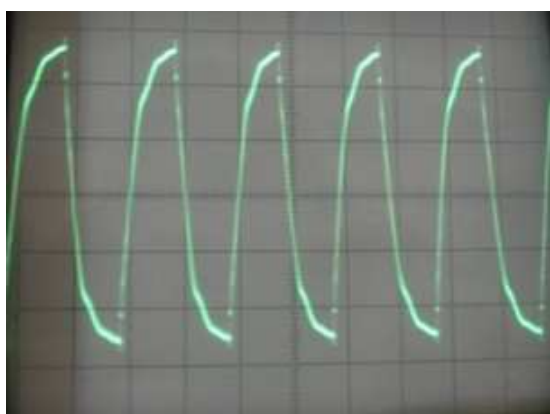
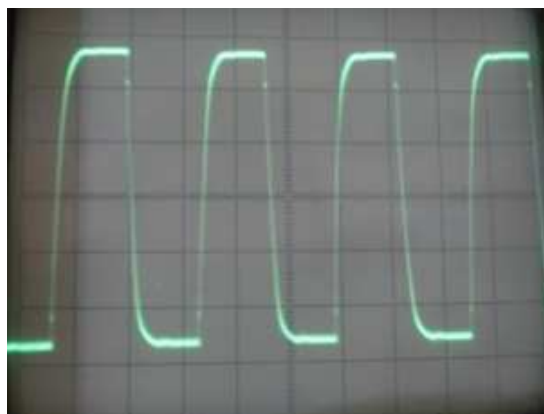
1 кГц



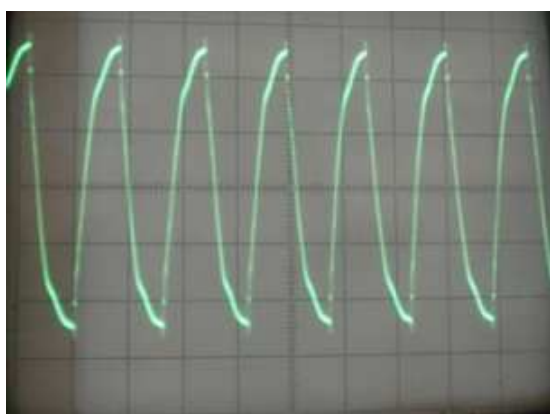
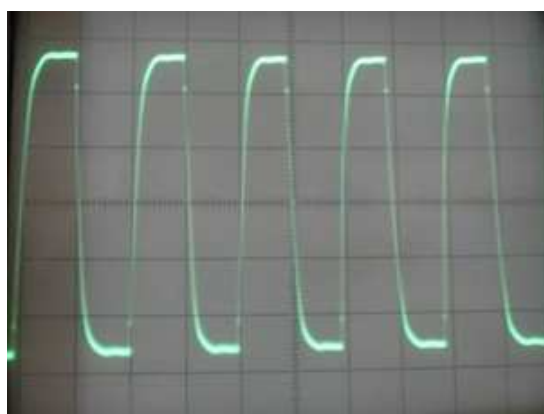
10 кГц



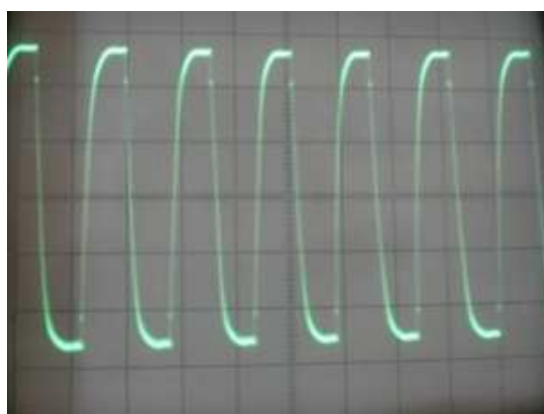
15 кГц



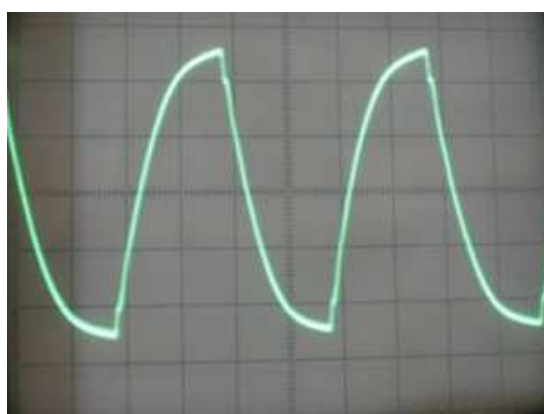
20 кГц



25 кГц



50 кГц



На синусоидальном сигнале разница появляется на частоте 10 кГц, на прямоугольном уже на 100 Гц видно затягивание фронтов на трансформаторе, намотанном по варианту А.

На 10 Гц синусоида искажена, что говорит о насыщении магнитопровода. На 14 Гц искажения исчезают.

Усилитель легко отдает в нагрузку очень качественных 2 Вт. При уменьшении величины α до трех выходная мощность растет до 4 Вт, но звук становится намного «жестче».

Сравнение звучания усилителей с этими трансформаторами дало некоторое предпочтение варианту Б, которое выразилось в более четкой передаче высоких частот. На низких частотах разница в звучании не слышна.

В качестве выходной лампы опробована и 6С19П. Отмечено несколько более «грязное» звучание и меньшее усиление по сравнению с 6R-A3.

Сергей Савчук

2.05.2011г.

г. Винница