

## Тесты некоторых усилителей на устойчивость к комплексной нагрузке

В справочнике Шкритека есть информация о том что на комплексной нагрузке ток нагрузки возрастает в 5,7 раза (в примере с 7 А до 40 А стр. 197). Например, фирма APX для имитации нагрузки использует конденсатор емкостью 4 мкФ, а Бен Дункан (стр. 312) рекомендует начинать с конденсатора 500 пФ, затем 470 нФ, 2 мкФ и 10 мкФ. Я для этой цели обычно использовал конденсатор 2 мкФ на напряжение 160...250 В.

В аудиосалоне (отражено в ряде статей) в качестве дополнительной нагрузки используют конденсаторы емкостью 0,47 или 0,33 мкФ.

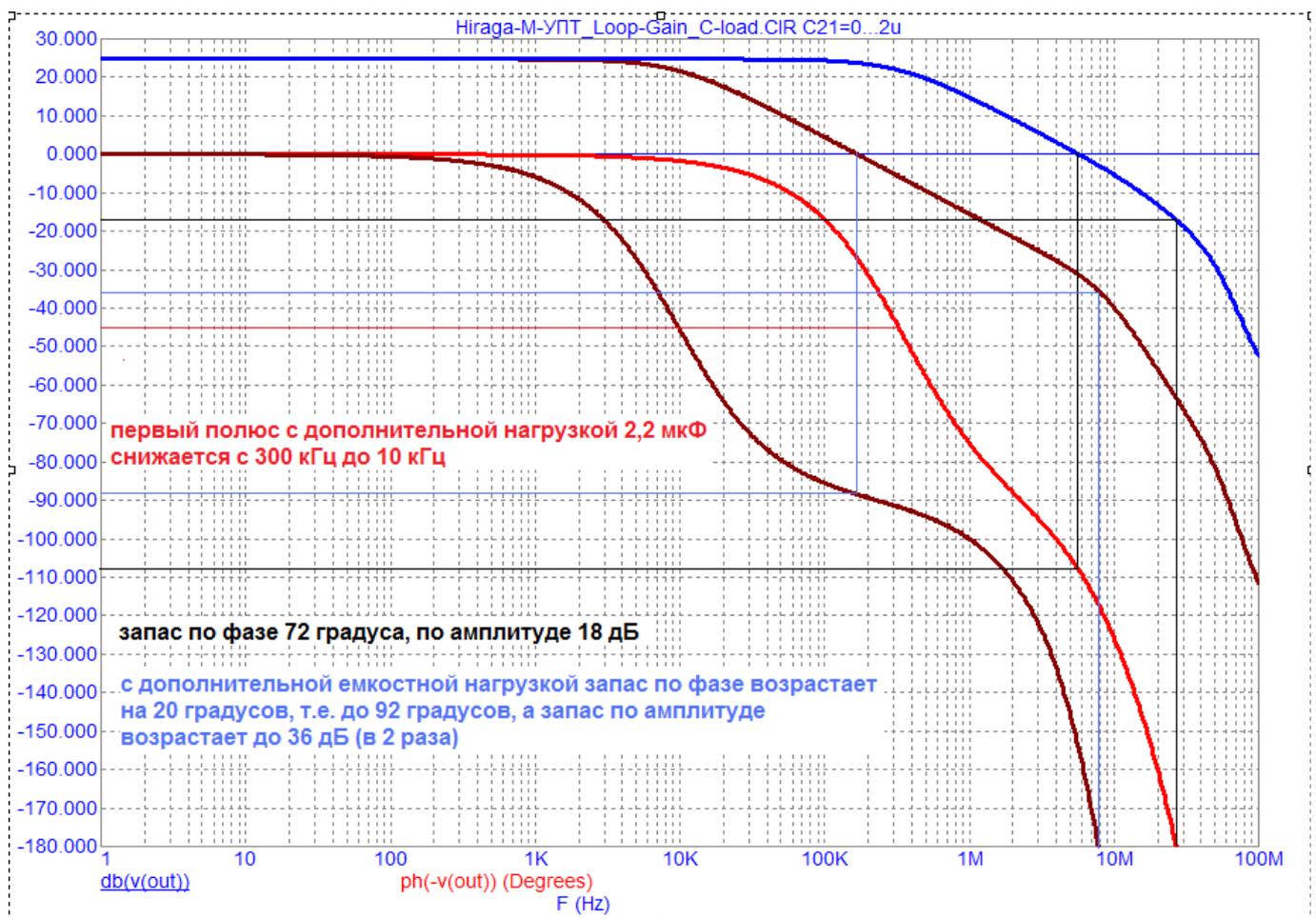
Часто для повышения устойчивости усилителя к реактивной нагрузке на выходе ставят дроссель индуктивностью 5...15 мкГн зашунтированный резистором 2...15 Ом. По этому поводу вспоминаю высказывание Джона Керла (John Curl) на одном из форумов в ветке по обсуждению скорости нарастания выходного напряжения. Суть высказывания в том что от дросселя больше вреда чем пользы и поэтому он разрабатывает усилители так, чтобы они устойчиво работали без дросселя.

Мой личный опыт также говорит о том что с дросселем на выходе увеличивается время задержки прохождения сигнала (растет ГВЗ), снижается реальная скорость нарастания выходного напряжения, возникает звон на полках импульсных сигналов.

На днях мне попались на глаза статьи о тестах из журнала Salon Audio Video и я решил провести аналогичные тесты на модели своей последней разработки (модификация Хираги для А.Ступакова (alnikst), звуком он очень доволен), заодно и на моделях других популярных усилителей.

Для краткости тесты представлены в виде картинок, надеюсь понятно.

### Тест модификации Хираги

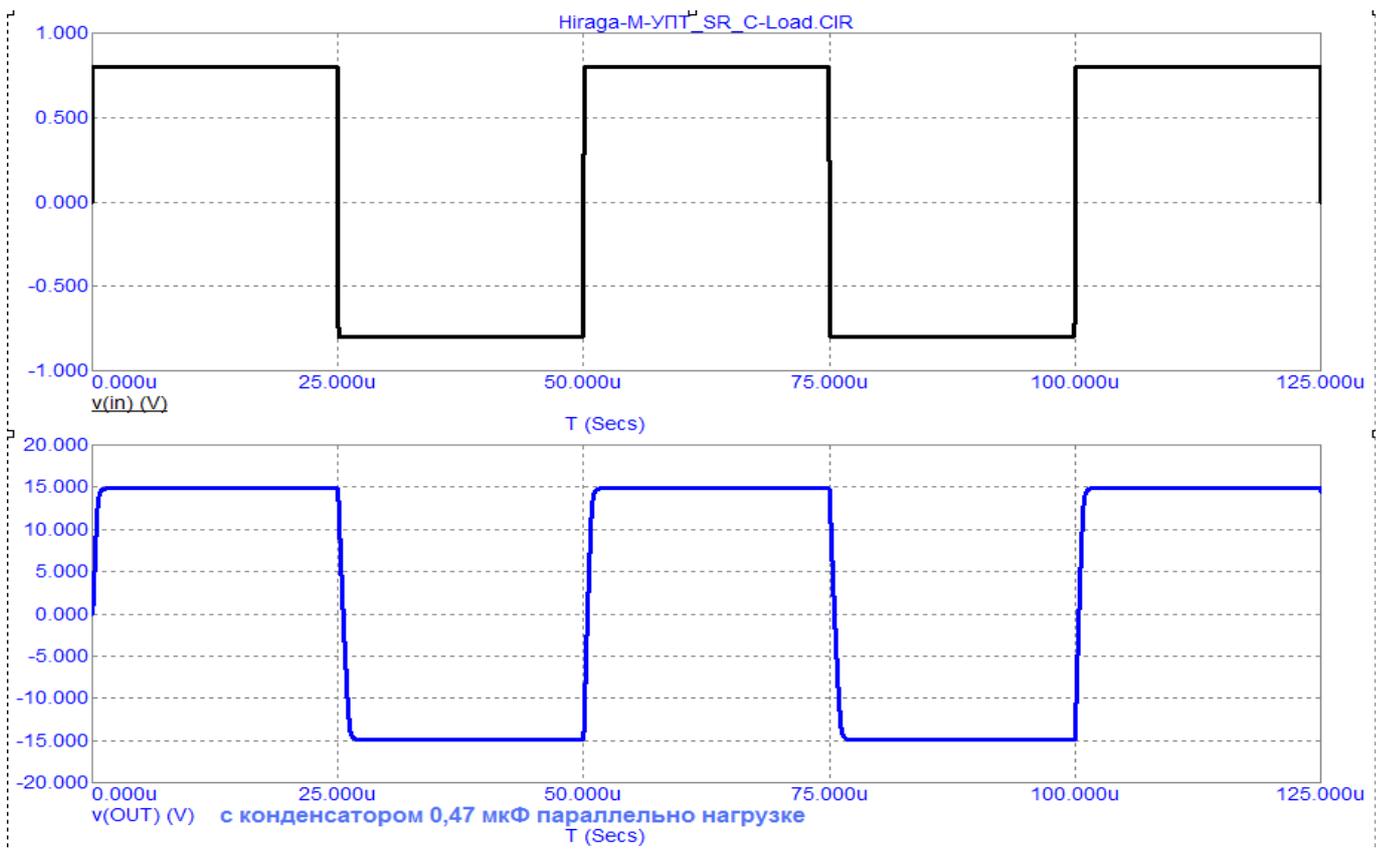


Петлевое усиление на активной нагрузке и с дополнительным конденсатором 2 мкФ

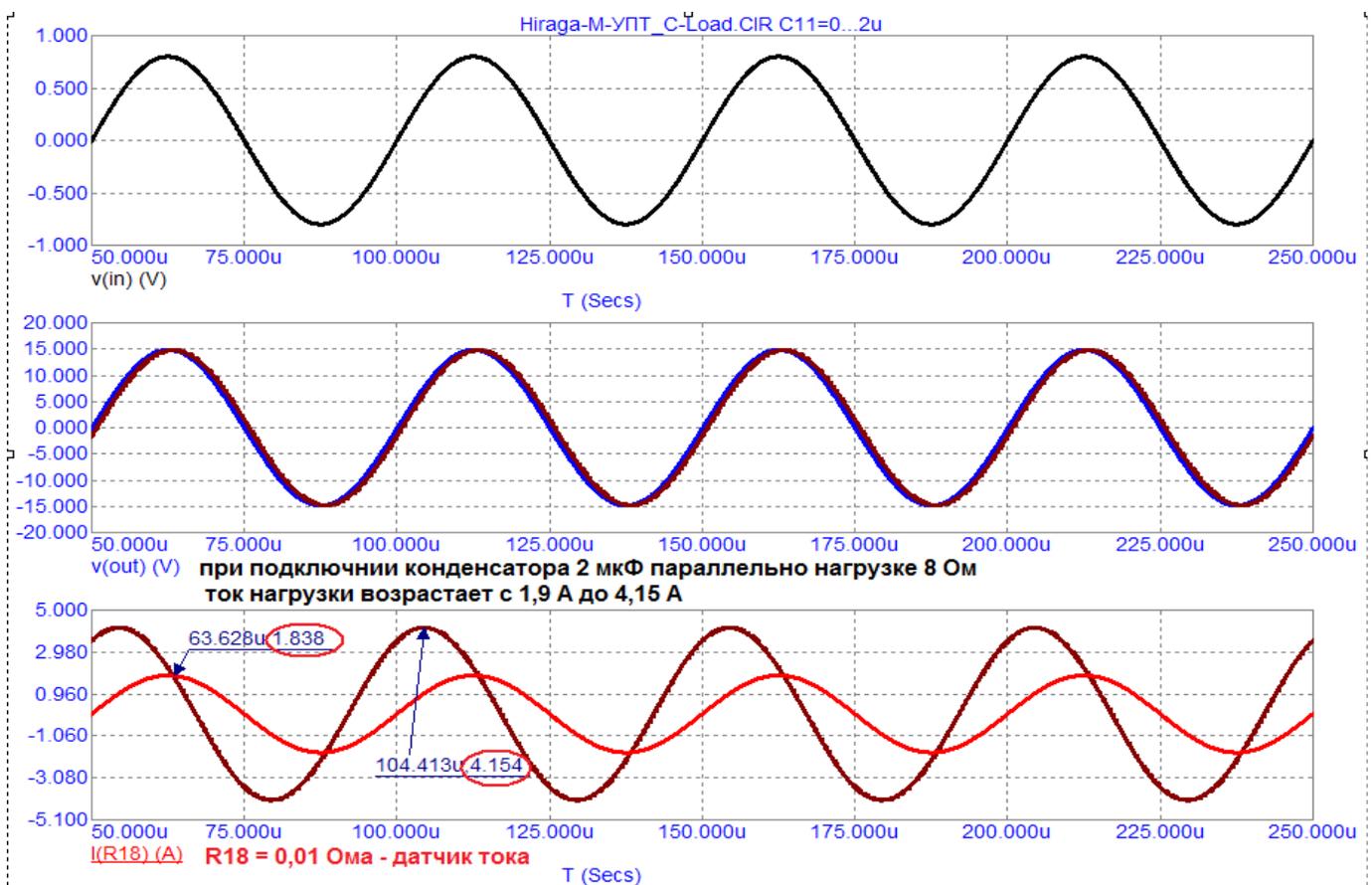
Без дополнительной нагрузки частота первого полюса равна 300 кГц. С дополнительной

нагрузкой характер поведения АЧХ и ФЧХ говорит о том что выходной импеданс усилителя чисто активный и емкостная нагрузка просто сдвигает первый полнос вниз сохраняя наклон 20 дБ/дек.

Как видим реактивная нагрузка в виде конденсатора 2 мкФ только увеличивает запасы как по фазе, так и по усилению, т. е. реактивная нагрузка только увеличивает устойчивость.

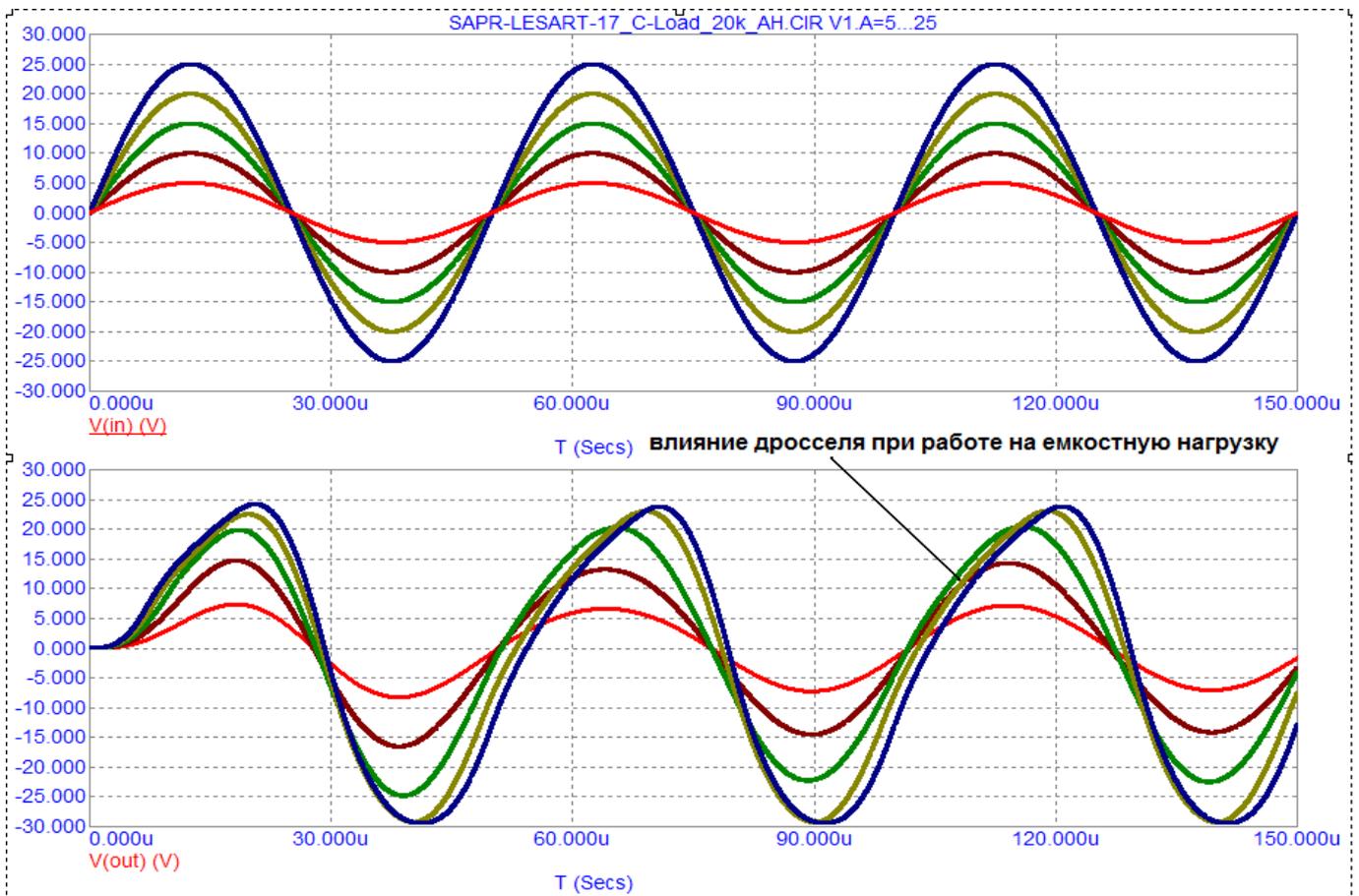
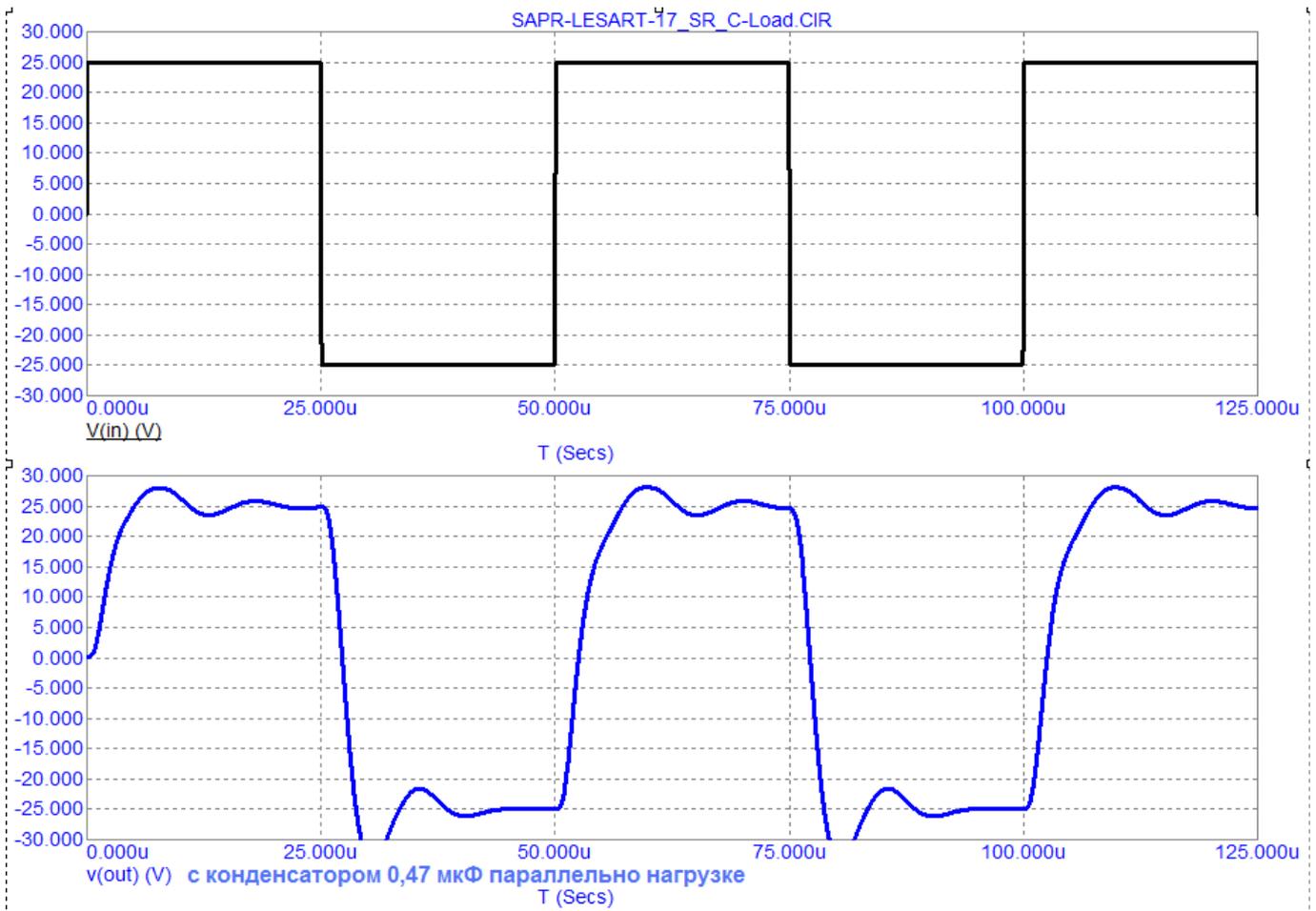


Тест на меандре 20 кГц с конденсатором нагрузки 0,47 мкФ не выявляет ничего плохого



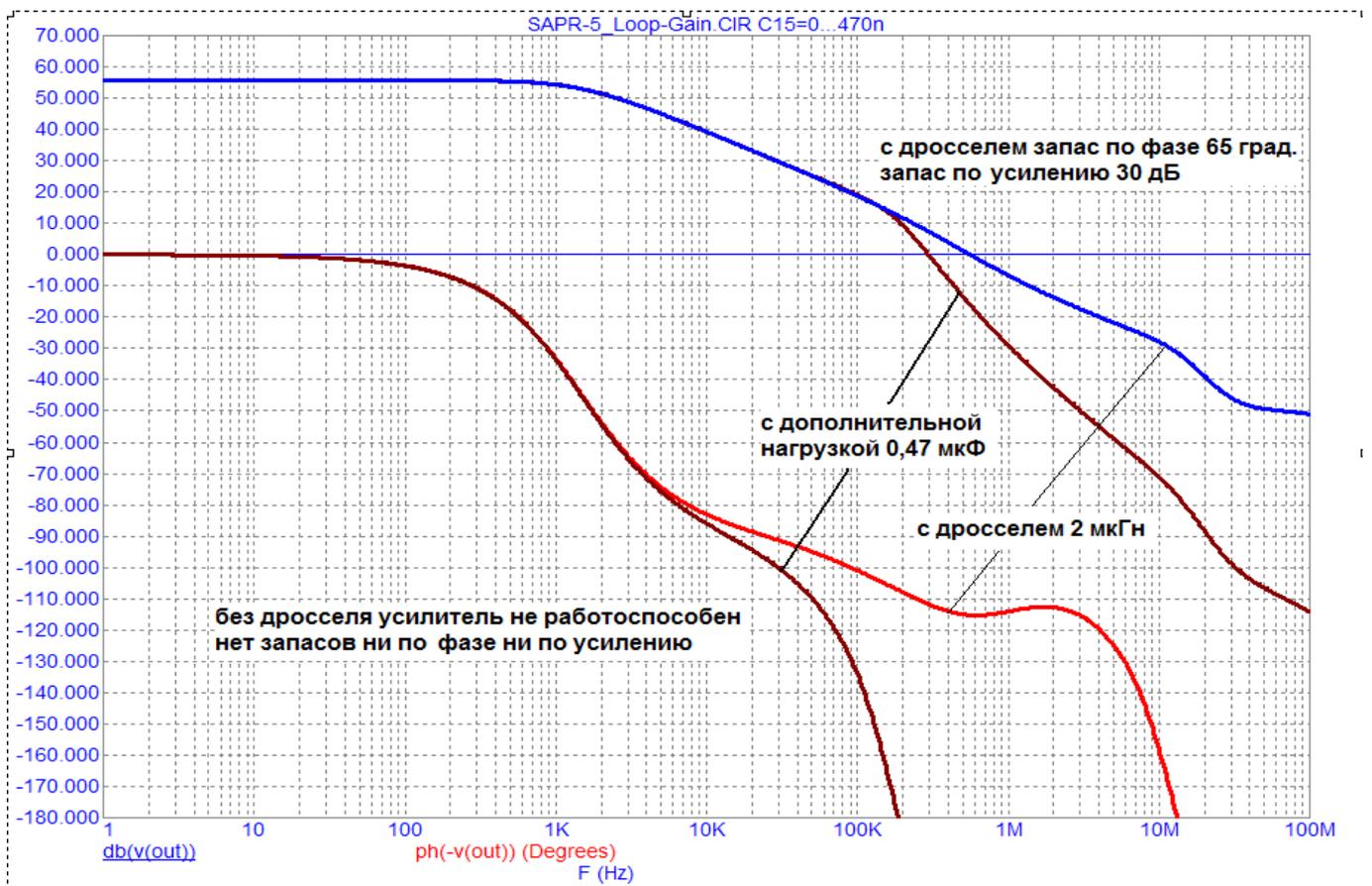
Повышение тока нагрузки в 5,7 раза соответствует дополнительной нагрузке конденсатором емкостью 5,6 мкФ

# Тест ВК LESART-17 (автор SAPR, схема в приложении)



Амплитудная характеристика с дополнительной нагрузкой 2 мкФ  
Налицо большие задержки выходных сигналов и асимметричные искажения формы

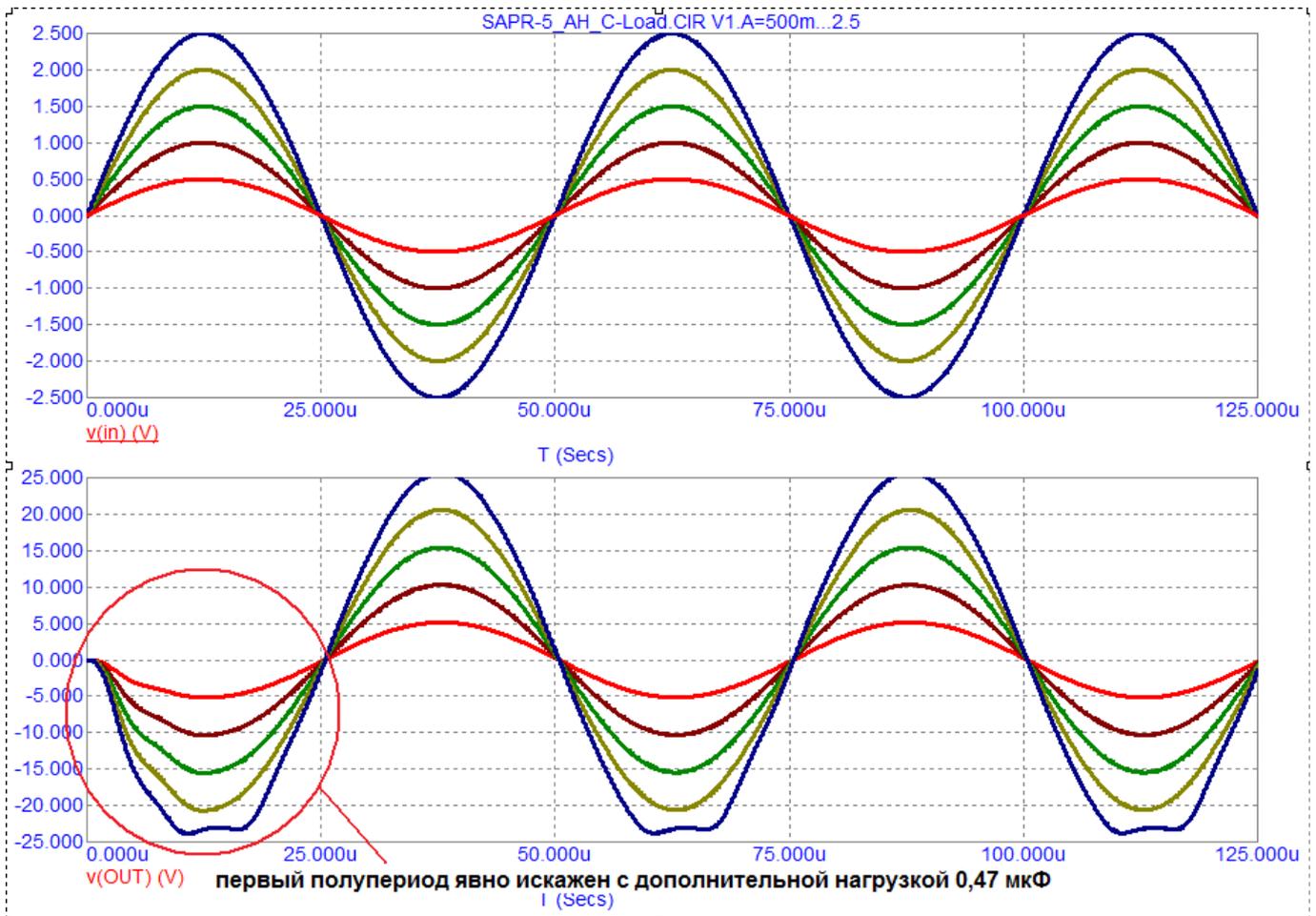
## Тест усилителя SAPR-5 (схема в приложении)



Без дросселя на реактивной нагрузке появляется второй полюс и усилитель теряет устойчивость.



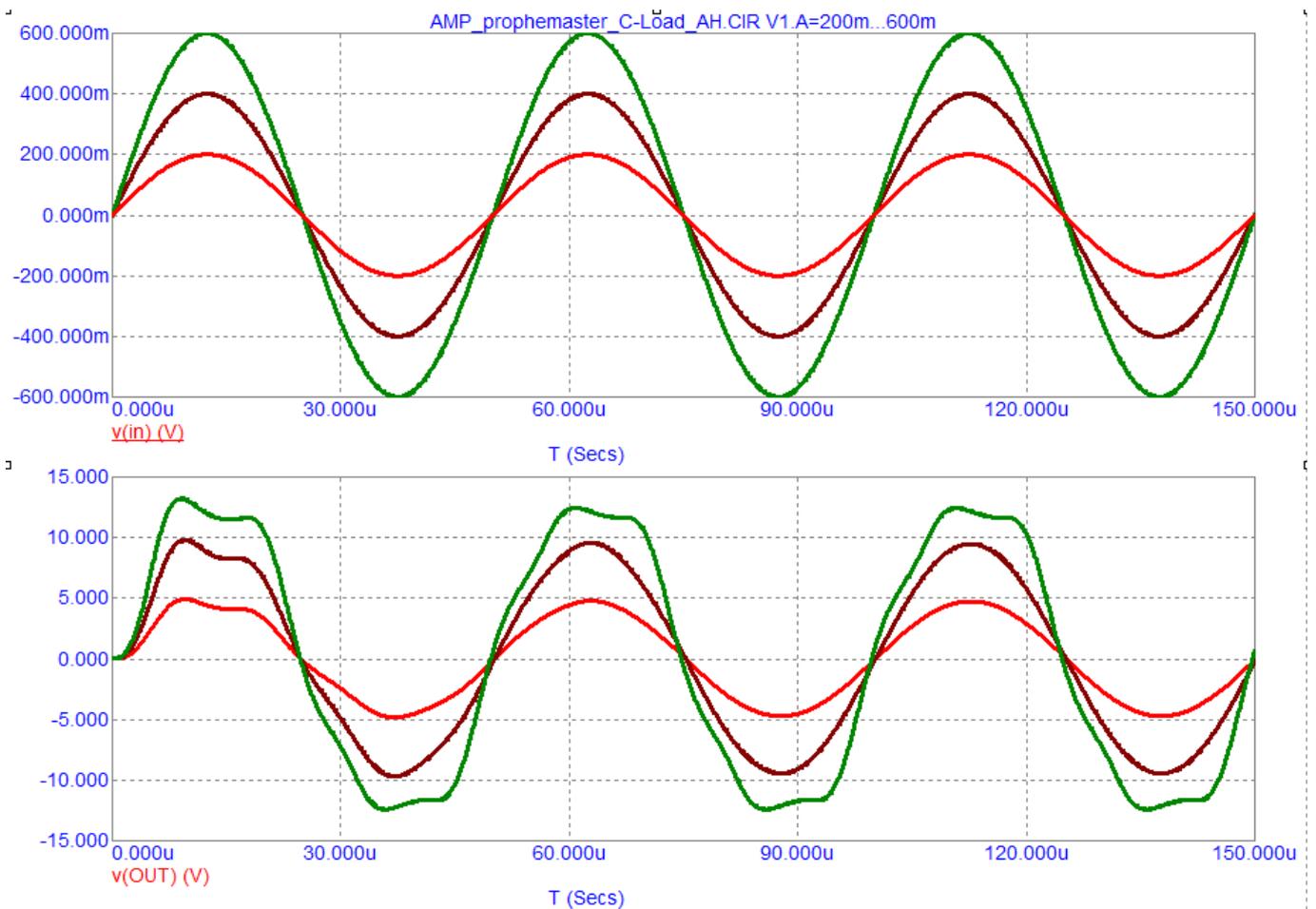
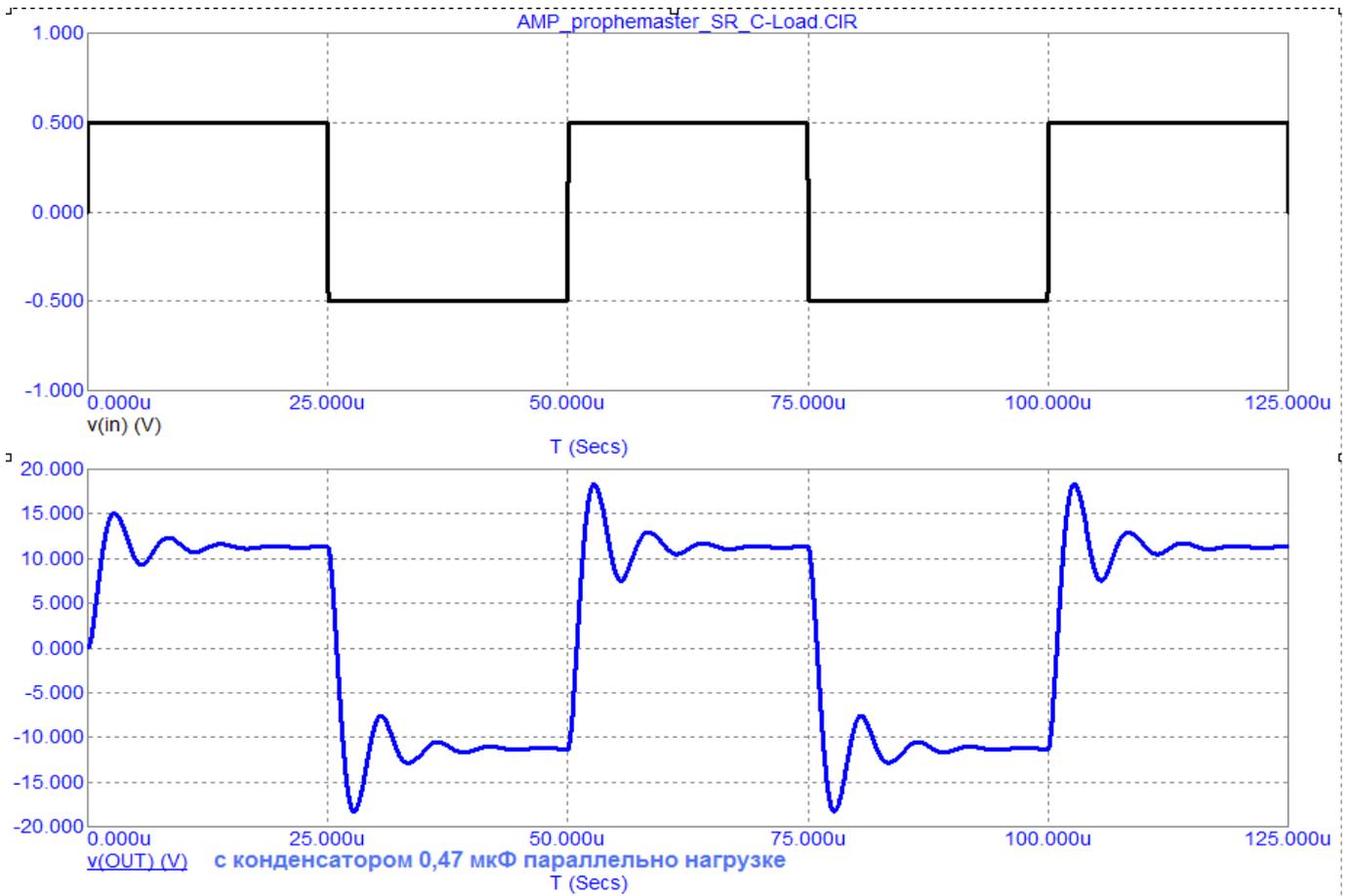
С дросселем и конденсатором нагрузки 0,47 мкФ на полках меандра появляется звон амплитуда которого превышает амплитуду меандра в 2 раза



Тест композита на современных быстродействующих ОУ (см. Радиолюбитель 2014-07, 08)



Без дросселя на выходе даже на небольшой дополнительной реактивной нагрузке запас по фазе снижается к критическому значению.



С дросселем даже небольшая реактивная нагрузка ведет к дополнительным искажениям как синусоидального сигнала, так и вызывает звон на полках меандра.

Это лишний раз подтверждает высказывание Джона Керла о том что от дросселя больше

вреда чем пользы. Т.е. надо стремиться разрабатывать усилители так чтобы они не нуждались в дросселе для повышения устойчивости в работе.

Я нагрузил емкостью 0,47 мкФ - меньше 1/10 от необходимой 5,6 мкФ. Дальнейшее увеличение емкости конденсатора при работе без дросселя на выходе ведет к неработоспособности усилителя.

Краткий анализ провел  
А.Петров

**Приложение 1.**

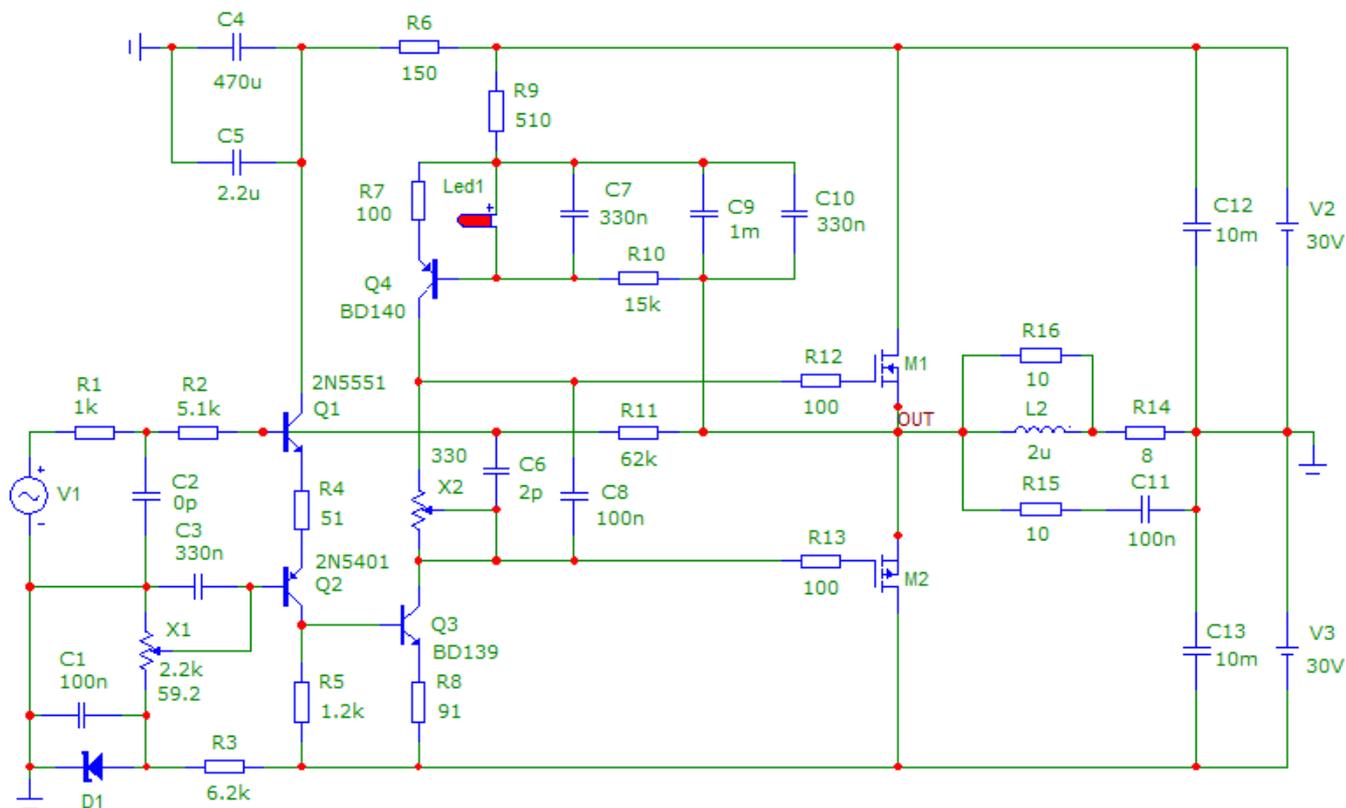


Схема модели усилителя SAPR-5

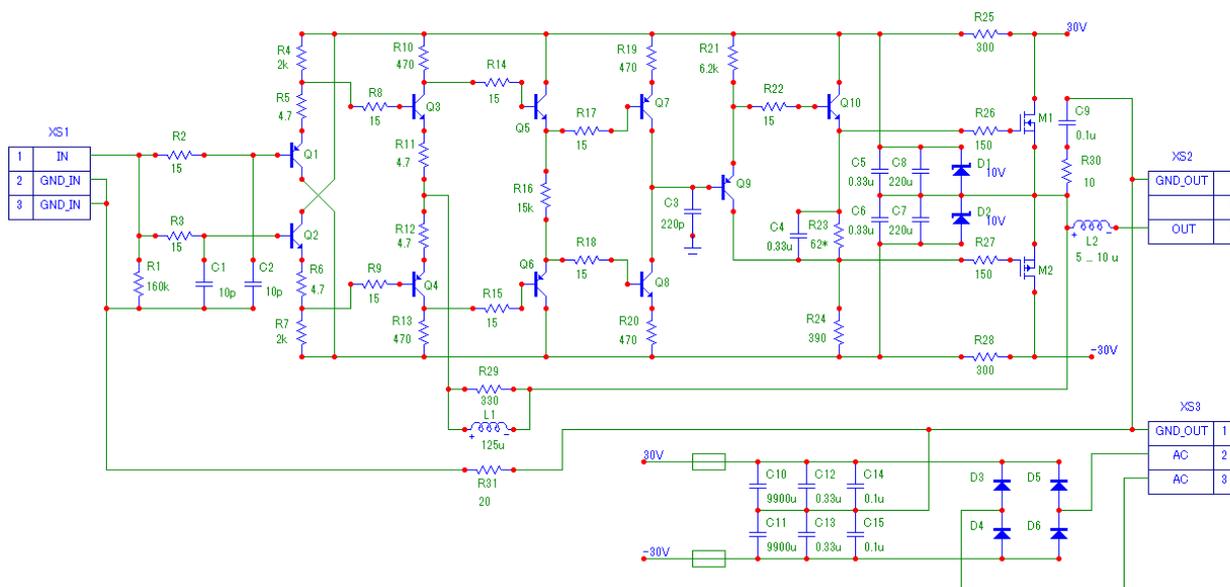


Схема модели BK LESART-17

## Приложение 2.

### POWER AMPLIFIERS AND REAL-WORLD SPEAKER IMPEDANCES DRIVE REQUIREMENTS AND AMPLIFIER SELECTION CRITERIA

Mr. Manuel Huber,  
President, FM Acoustics  
Switzerland

The drive requirements that today's speakers demand from amplifiers are much underrated. In addition to the static resistance - which itself varies greatly over the frequency range (a typical speaker with a nominal 8 Ohm impedance rating can easily vary from 50 Ohms to below 2 Ohms) - there are often huge phase changes that approach a cosine phi of 1 (the worst case where the maximum current is required at exactly the same time when the amplifier is delivering its maximum voltage swing). The phase is also changing with frequency, not exactly simplifying matters. In terms of a roughly comparable resistive rating, this would correspond to a load resistance of between 1 and 50 Ohms for a typical 8 Ohm speaker. Some critical speakers are even more demanding! Despite contrary claims by manufacturers there are really very few amplifiers that have been designed to stable drive such loads and fulfil the above requirements.

*Требования к усилителям, которые современные динамики требуют от усилителей, сильно недооценены. В дополнение к статическому сопротивлению - которое само по себе сильно варьируется в частотном диапазоне (типичный динамик с номинальным сопротивлением 8 Ом может легко варьироваться от 50 Ом до менее 2 Ом) - часто бывают огромные фазовые изменения, приближающиеся к косинус-фи 1 (наихудший случай, когда максимальный ток требуется ровно в то же время, когда усилитель обеспечивает максимальное колебание напряжения). Фаза также меняется с частотой, что не совсем упрощает дело. С точки зрения примерно сравнимого сопротивления, это будет соответствовать сопротивлению нагрузки от 1 до 50 Ом для типичного динамика на 8 Ом. Некоторые критические динамики еще более требовательны! Несмотря на противоречивые заявления производителей, на самом деле очень мало усилителей, которые были разработаны для стабильной работы на таких нагрузках и выполнения вышеуказанных требований.*

Most amplifiers' protection circuits - be they fuses voltage and/or current limiting, input stage, driver stage and other forms of compression or limiting - will activate with such loads and cause compression, signal clamping, dynamic limiting and/or distortion. Power supplies collapse under such stress conditions, while the predriver and driver stages easily run out of reserve and provoke all kinds of momentary strange reactions. This creates various types of dynamic distortions that cannot be measured but can be audible and detract from the accuracy of the reproduction.

*Защитные цепи большинства усилителей - будь то плавкие предохранители, ограничивающие напряжение и / или ток, входной каскад, каскад возбуждения и другие формы сжатия или ограничения - активируются при таких нагрузках и вызывают сжатие, ограничение сигнала, динамическое ограничение и / или искажение. Источники питания разрушаются в таких стрессовых условиях, в то время как предусилители (УН) и ВК легко выходят из режимов и вызывают всевозможные странные реакции. Это создает различные типы динамических искажений, которые не могут быть измерены, но могут быть слышны и снижают точность воспроизведения.*

Traditional design theory indicates that an amplifier output current capability in the region of 5 to 15A is sufficient, but in actual use peak current requirements of several hundred A are required when driving demanding speakers! It is not unusual to find that amplifiers that are specified for continuous 2 Ohms operation are failing to drive speakers with a nominal impedance of 4 Ohms without noticeable compression, signal damping, limiting or instability effects.

*Традиционная теория проектирования показывает, что выходной ток усилителя в диапазоне от 5 до 15 А является достаточным, но при фактическом использовании требования к пиковому току в несколько сотен А требуются при управлении требовательными громкоговорителями! Нет ничего необычного в том, что усилители, которые предназначены для непрерывной работы на 2 Ома, не могут управлять динамиками с номинальным импедансом 4 Ома без заметных эффектов сжатия, демпфирования, ограничения или нестабильности.*

Приложение 3.

CHAPTER 20.  
LOUDSPEAKERS .  
BY F. LANGFORD-SMITH, B.Sc., B.E.

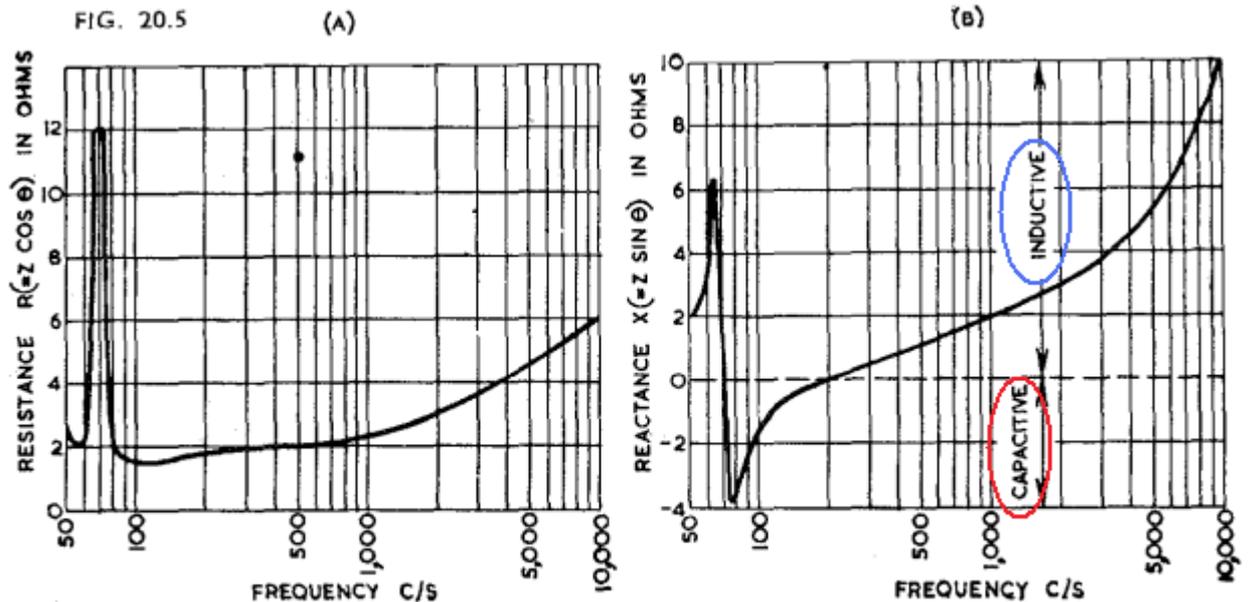
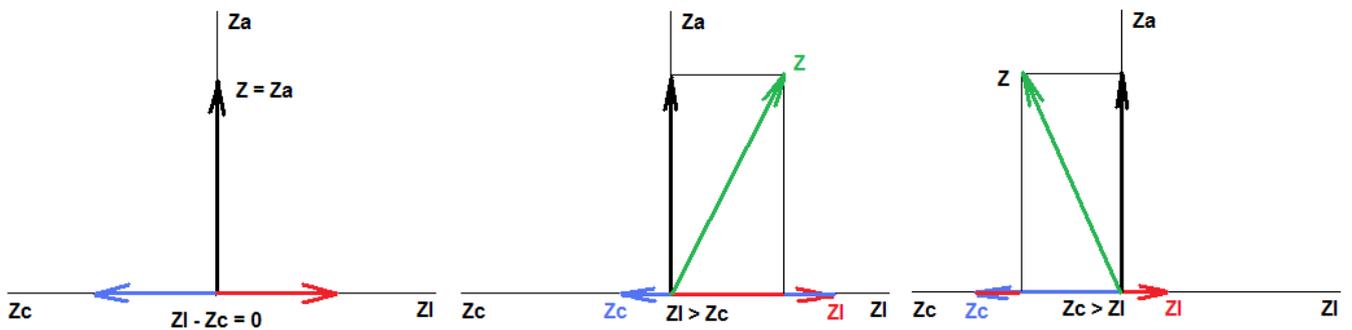


Fig. 20.5. (A) Resistive and (B) Reactive components of the impedance of a typical loudspeaker. Ref. 37.

Активная и реактивная нагрузка типовых динамических головок. Реактивная нагрузка может иметь как индуктивную так и емкостную составляющую (рисунок справа).



Судя по графикам выше приведены импедансы НЧ-головки с резонансной частотой 70 Гц. Судя по графику справа баланс индуктивного и емкостного импеданса наступил на частоте 200 Гц.

**Примечание.** Графики приведены с учетом знака ипеданса (без учета фазы)