

UNIVERSITY OF EXTREMADURA

Escuela Politécnica

Master in Telecommunication Engineering

Final Master Project

“Design and construction of vacuum tubes amplifier for electric guitar”

Sergio Búrdalo Hernández

June 2015

UNIVERSITY OF EXTREMADURA

Escuela Politécnica

Master in Telecommunication Engineering

Final Master Project

“Design and construction of vacuum tubes amplifier for electric guitar”

Author: Sergio Búrdalo Hernández

Signature:

Director: Antonio Gordillo Guerrero

Signature:

Tribunal Calificador

President:

Signature:

Secretary:

Signature:

Vowel:

Signature:

Date:

CALIFICATION:

Agradecimientos

Con este proyecto pongo punto y aparte a una feliz etapa de mi vida.

Han sido seis años en los cuales un folio se queda corto para mencionar a toda la gente que ha puesto de su parte para que hoy esté donde estoy.

Algunas de esas personas seguramente nunca sepan que su nombre figura en este documento, pero darles las gracias es lo mínimo que puedo hacer para agradecerles su apoyo, esa mano en los momentos duros... el haber estado ahí.

Mi familia son los principales culpables de mi éxito. Han estado a mi lado en todo momento aguantando mis malos ratos, poniéndome los pies en la tierra, haciendo fácil lo imposible y eso vale más que todas las matrículas de honor del mundo.

“Máma”, “Pápa”, Paula: con nuestra foto delante a muchos kilómetros de vosotros me vienen a la cabeza los “tapers” que me dejabais en la mesa para que comiese en la biblioteca, los sábados que habéis limpiado la casa por mí para que no parara de estudiar y esa frase de “Suerte hijo. Suerte y al toro que eso lo tienes hecho” que me decíais SIEMPRE antes de irme a los exámenes y me daba la vida.

Es imposible que no se escape una lágrima al recordar esos buenos momentos pero siempre estarán ahí y os lo agradezco de corazón. Sois muy grandes.

También estáis vosotros, hermanos del “SD”, que seguro vais a echar de menos las “rabiadas” a las 5 de la mañana cuando me acordaba de que al día siguiente tenía que estudiar. Hemos celebrado aprobados y suspensos, pasado horas y horas en la biblioteca... ¡gracias chavales y mucho ánimo!

Qué decir de Serapio, Porro, Alfonso, Serna, Carmen, Eva, Adol... los Telecom. Un grupo inmejorable, donde siempre ha primado el buen rollo entre todos y hemos aprendido a ser compañeros y facilitarnos la vida. Me llevo grandes amistades de la carrera y estoy seguro de que nos veremos pronto. Gracias a todos por estos maravillosos 6 años.

Gordillo, ¡una vez más no te libras de salir aquí! Por segunda vez he tenido la suerte de contar con este pedazo de profesional con el que siempre es un placer trabajar. Aun teniendo la dificultad añadida de dirigir un proyecto en el que de inicio las cosas tendrían que hacerse de otra forma debido a mi traslado a Madrid, no dudó en repetir conmigo y gracias a su flexibilidad, implicación y profesionalidad ha sido aún más fácil si cabe llevar a cabo el proyecto.

Los que bien me conocen saben que solo tengo buenas palabras para él y no es para menos. Ha sido un auténtico placer compartir tantas horas juntos y estoy seguro de que seguiremos en contacto.

Las “illas”, Claudia y Celia, dos bellísimas personas que pude conocer gracias a la Universidad y que me llevo conmigo. Ha sido genial compartir descansos, comidas improvisadas en la biblioteca y nervios antes de saber las notas... ¡gracias por estar ahí!

Mi abuela Ana... ¡cuántas veces habré rezado a San Antonio para que me fuese bien en los exámenes...! Santos a parte, siempre creyó en mí y a pesar de su completo desconocimiento de la materia se interesó por todos y cada uno de los exámenes. Te doy las gracias por tu apoyo incondicional. Te quiero abuela.

Y por último darle las gracias a toda “la buena gente” de la Escuela, compañeros y profesores. Esos que por temporadas se han convertido prácticamente en familia y que no han dudado nunca en poner todo lo que estaba de su parte.

A todos os debo una canción.

INDEX

Picture list	8
1. Abstract	12
2. Keywords	13
3. State of the art.....	14
3.1. Why valves? Previous concepts	15
3.2. Commercial amplifiers model	17
4. Circuit analysis	21
4.1. Analysis of the key components. Thermionic valves.	21
4.2. Descripción general y definición de especificaciones del amplificador.	33
4.3. Diagrama y definición de bloques funcionales.	35
5. Proceso de diseño a nivel de circuito.	42
5.1. Estudio del problema de diseño	42
5.2. Objetivos de diseño. especificaciones.	42
5.3. Descripción de componentes más importantes y determinación de valores.	43
6. Modifications.....	62
6.1. Control de nivel de máster PPIMV.....	63
6.2. Retroalimentación negativa.....	66
6.3. Conmutación Pentodo/triodo.....	67
7. Prototype construction.....	69
7.1. Componentes Empleados	69
7.2. Contructions steps	73
8. Test configuration and testing proposals.....	82
9. Costs comparison	87
10. Conclusion and opinion	89

11.	Bibliografy.....	90
12.	Appendix.....	91

PICTURE LIST

Ilustración 1. Audion. First amplifier device created by Forest history.	15
Ilustración 2. Outline of different vacuum and real view.	16
Ilustración 3. Harmonic distortion suffered after amplification valve technology at a frequency of 60Hz with 5 harmonics.....	17
Ilustración 4. Marshall Super Lead scheme.	18
Ilustración 5. Marshall Super Lead 100W commercial view.....	18
Ilustración 6. Vox AC30 commercial schema.	19
Ilustración 7. VOX AC30 commercial view.....	20
Ilustración 8. Triode definition.	22
Ilustración 9. Definición de válvula tríodo.	24
Ilustración 10. Línea de carga a 100k ohmios para un voltaje de 300V.....	25
Ilustración 11. Cambios de voltaje de cátodo para una Línea de carga a 100kOhmios para un voltaje de 300V.....	26
Ilustración 12. Clipping obtenido en una válvula ECC83.	27
Ilustración 13. Soldano SL0 100.	28
Ilustración 14. Características estáticas del ánodo en una válvula ECC83.	30
Ilustración 15. Función de transferencia de una válvula de pre-amplificación 12AX7.	30
Ilustración 16. Efecto de una válvula rectificadora de corriente sobre una señal senoidal.	31
Ilustración 17. Válvula rectificadora 5aR4 utilizada en el proyecto.....	31
Ilustración 18. Válvula de vacío. Esquema perteneciente a un tríodo.	32
Ilustración 19. Diagrama de bloques funcionales.	35
Ilustración 20. Ubicación de la etapa de alimentación en el circuito.....	36
Ilustración 21. Ubicación de la etapa de entrada en el circuito.....	37
Ilustración 22. Ubicación de la etapa de previo y ecualización.....	38
Ilustración 23. Características y valores típicos de operación de la 12AX7.	38

Ilustración 24. Ubicación de la etapa de potencia en el circuito.....	39
Ilustración 25. Características y valores típicos de operación de la válvula 6V6.	40
Ilustración 26. División de etapas en el esquema Tweed Deluxe.....	43
Ilustración 27. Vista por etapas de la fuente de alimentación.	44
Ilustración 28. Etapa de entrada.....	45
Ilustración 29. Tensiones requeridas en transformador de entrada para alimentación del circuito.....	45
Ilustración 30. Transformador de alimentación utilizado en el diseño. Tensiones devanados. .	46
Ilustración 31. Válvula rectificadora de fabricación rusa: Sovtek 5AR4.....	48
Ilustración 32. Banco de filtros ubicado en la alimentación del amplificador.	48
Ilustración 33. Conexión de terminales al banco de filtros.	49
Ilustración 34. Potenciómetros de control de volumen Canal 1 y Canal 2 ubicados en etapa de previo.	50
Ilustración 35. Etapa de entrada multicanal.	50
Ilustración 36. Etapa de previo y ecualización.....	51
Ilustración 37. Válvulas 12AY7 y 12AX7 empleadas en el diseño. Fabricante: Electro-Harmonix.	52
Ilustración 38. Diagrama de conexionado y esquema de pines de la válvula 12AY7.	53
Ilustración 39. Ubicación de la válvula de previo V1 tras la etapa de entrada.	53
Ilustración 40. Control de Bias en la primera válvula de pre-amplificación.	54
Ilustración 41. Válvula 12AY7 utilizada como válvula de baja ganancia.....	55
Ilustración 42. Configuración de Tone Stack para el control de tono con la válvula 12AX7.	56
Ilustración 43. Válvula rectificadora 12AX7.	57
Ilustración 44. Diagrama de pentodo y dirección de los electrones.....	58
Ilustración 45. Etapa de potencia extraída del esquema de Tweed Deluxe.....	59
Ilustración 46. Imagen comercial del transformador de salida Hammond 1750W de 15W.....	60
Ilustración 47. Esquema de la etapa de salida.....	60

Ilustración 48. Vista general y respuesta en frecuencia del modelo “Celestion V30”	61
Ilustración 49. Configuración inicial de la etapa de previo. Inversora de fase sin control PPIMV.	64
Ilustración 50. Modificación realizada en la etapa de previo. Inversora de fase con control PPIMV.....	64
Ilustración 51. Vista de la instalación del control de Máster sobre el chasis (izquierda de la imagen).....	65
Ilustración 52. Puntos de feedback negativo propuestos.	66
Ilustración 53. Switch DPDT utilizado para la conmutación y estados que puede tomar.	67
Ilustración 54. Conmutación interna del Switch DPDT de Pentodo – Triodo.	68
Ilustración 55. Resumen de componentes empleados.	69
Ilustración 56. Vista del interruptor de “stand by”.	70
Ilustración 57. Esquema de pines obtenido a partir del datasheet de la válvula 12AY7.	71
Ilustración 58. Esquema interno de una resistencia variable.....	72
Ilustración 59. Relación de trabajo de potenciómetros en función del tipo.	72
Ilustración 60. Draft copy of construction board schema.....	74
Ilustración 61. Full view of the plate built by turret.	74
Ilustración 62. Top view of wiring installed on the board.....	75
Ilustración 63. Bottom view of wiring installed on the plate.	76
Ilustración 64. Prototype view after implantation of the wiring board.....	76
Ilustración 65. Interconnection of all circuit elements. Twisted wiring.....	76
Ilustración 66. View of transformer.....	77
Ilustración 67. Prototype view after placement of sockets.....	77
Ilustración 68. Valve tube side view.	78
Ilustración 69. Protector valve (above) and ceramic sockets (below) used in the installation of valves pre-amplification in the chassis.....	78
Ilustración 70. Back view of the chassis used in the construction of the prototype.	79

Ilustración 71. Global view with valves mounted on the chassis.	80
Ilustración 72. Overview of the amplifier on the speakers.	80
Ilustración 73. Example ground connection method according to Hoffman masses.	82
Ilustración 74. Change in volume control to frequency Check.	84
Ilustración 75. Variation of tone control recommended for testing.....	84
Ilustración 76. Proposal to control Master configuration test.....	85
Ilustración 77. Original panel control for tweed Fender Deluxe.	86
Ilustración 78. Lateral view of the amplifier.	88

1. ABSTRACT

This project presents an analysis, improvement and implementation of the "Fender Tweed Deluxe" amplifier commercial circuit.

This is a tube amp for guitar, i.e., a device that sits at the end of the sound chain and whose function is to amplify the signal from the guitar through a typical active device such as the thermionic valve.

This project will focus on two aspects: circuit-level design and implementation.

In one hand, the circuit level design wants to give a technical overview and conceptual vision of each and every one of the stages and elements of the amplifier, paying special attention to the location of each. We will start by an overview of the needs and objectives needed to manufacture the product: the amplifier, considering the definition of the specifications that must be met.

Then we will show the different stages that the signal must pass to qualify as functional block diagram, which must meet predetermined specifications before, in the early stages of design.

Finally we will proceed to system integration, involving the interconnection of the various parts of the system to complete the scheme, understanding the critical parts of the circuit and the subsequent verification.

On the other hand, circuit design level, we want to provide a vision of design from a technical point of view. Systematic will be very similar to the one above, but there is a difference: we will study the most appropriate topology for the circuit and, once determined, more schematic appropriate set specifications will be defined.

Finally we evaluated the design and operation try to predict possible improvements. A study of costs is also presented before proceed to mounting.

2. KEYWORDS

Amplifier, tube, gain, resistencia de carga, HT, ánodo, cátodo, rejilla de control, triodo, pentodo, sustain, banco de filtros, devanado/secundario, rectificación, preamplificación, Warm Biasing, Headroom, clipping, cut-off, resistencia de bias, banco de filtros, filter, ecualización, power stage, speaker, transformador, phase inverter, feedback, master control.

3. STATE OF THE ART

In the music world, if we talk about current music production or live music, it is inevitable to talk about a balance between talent and music technology. There are two factors that are directly related to success and cannot live without each other, to the point that it is possible to compensate for the lack of talent with a good musical production helped amp and effects processors quality.

Specifically, it is known the growing interest in recreating sounds of the golden times in music. We speak of 70-80 years in which the use of devices such as tube amplifiers or fully analog effects pedals was the order of the day.

That is why, although the technology dates back to the nineteenth century, yet large number of models are still marketed, made by very reputable manufacturers for the most demanding artists on the current music scene.

In the case of the use of electric guitar tube amps it is widespread. Most professional musicians choose this type of amplifiers for their distortion characteristics very different from those achieved with transistor amplifiers, and it is in them that the thermionic valve plays a crucial role.

There is currently a lot of controversy in the world of electronics in connection with transistors. This is because the transistors are capable of performing functions similar to the valves with higher efficiency and lower working temperatures greatly in addition to space considerations are much more practical, even theoretically they perform better. But is not this theoretical behavior that is pursued for the sound of a guitar, but a feeling of warmth and body that only a tube amp is capable of delivering.

No doubt there are many electronic disadvantages that have to be taken to achieve a just great result. For this reason, a study in the amplification tube will be the main theme and will be analyzed in detail its surroundings from different points of view in order to understand the role it in obtaining a sound all raises unwanted musicians and understand the different elements and design possibilities offered.

3.1. WHY VALVES? PREVIOUS CONCEPTS

Undoubtedly the vacuum valve occupies a position of honor in the history of sound recording, that is why from the beginning of the document it treated as a main circuit element of this study, focusing the content and project decisions around this singular component, but ... why opt for valves for amplifier design? Certainly use in guitar amplification is greatly appreciated and is very mythified.

Here are several reasons why the valve has an important role nowadays and many of the reasons that have brought to this component to his privileged and respected role.

3.1.1. WAS FIRST ELEMENT OF ELECTRONIC AMPLIFICATION

The vacuum tube or thermionic could not have been created without the discovery of the "principle of thermionic emission" known as Edison Effect, principle that can release metal ions under the influence of thermal energy; the invention by Fleming of the vacuum diode, used to rectify current and patented by himself as "Fleming valve" which is a precursor diode currently known as vacuum triode widely used in amplifiers; the vacuum triode amplifier discovered by Forest, discovered with the intention of amplifying signals and regulate the volume thereof and achieved by inserting a third electrode between the filament and the anode of diode vacuum (currently known as the "control grid") which is the essence of the amplifier and at that time meant a revolution in the world of electronics.

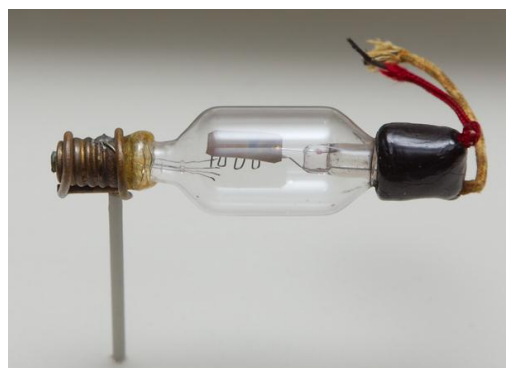


Ilustración 1. Audion. First amplifier device created by Forest history.

3.1.2. THERE IS GREAT DIVERSITY OF VALVES.

Depending on the application and functionality that is required, it has different types of valves: triodes, tetrodes and pentodes.

Operation remains the same, a flow of electrons from the cathode to the anode due to the potential difference, but what varies in each case is the number of control grids and / or configuration of these, which come between the positive and the negative terminal to prevent the flow of electrons.

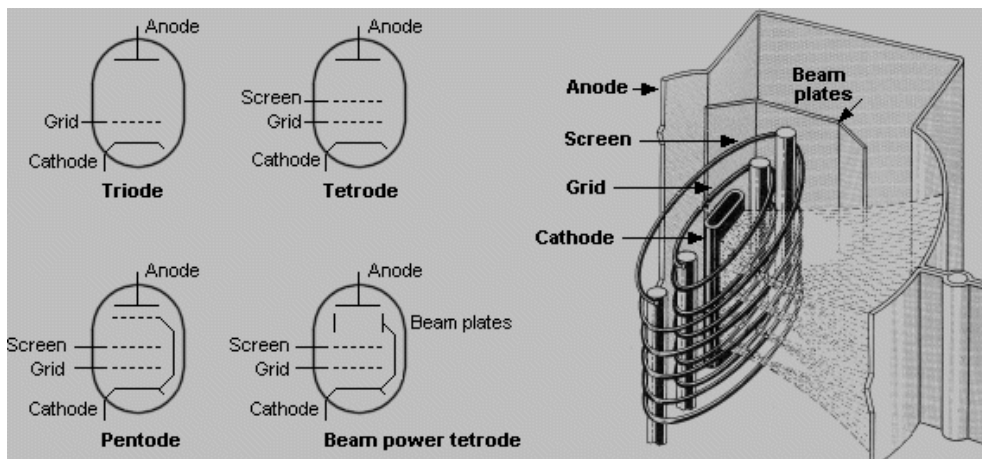


Ilustración 2. Outline of different vacuum and real view.

3.1.3. MORE THAN AN AMPLIFICATION ELEMENT

As it is stated in the title, this is an element that provides amplification to more than the simple action of amplifying a signal. By not respond linearly in frequency, the valve was overtaken by theoretically transistor which achieves a better amplification in terms of linearity.

The controversy arises at this point due to the fact that, although the transistor theoretically responsive to what is physically understood as a good amplification, amplification valve, a series of nice nuances in the ear of a musician who becomes decisive when opting for one technology or another (transistors or valves) when purchasing an amplifier.

Arguably, the guitarist seeking the touch of distortion contributed frequencially talking to the input signal in the amplification process and not only that, but "clean" sound we mean when we express ourselves musically incorporates some distortion provided by valves.

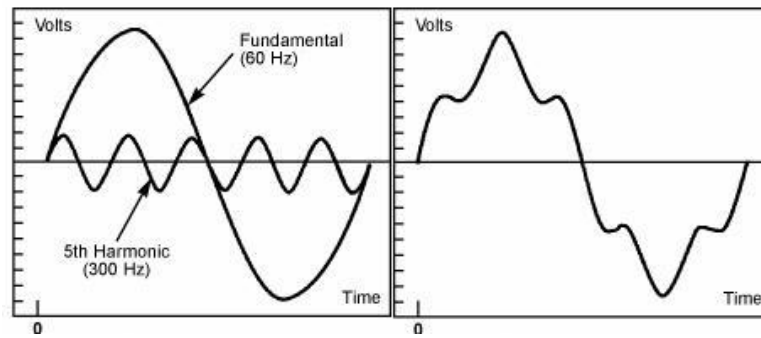


Ilustración 3. Harmonic distortion suffered after amplification valve technology at a frequency of 60Hz with 5 harmonics

3.2. COMMERCIAL AMPLIFIERS MODEL

For this analysis we opted for a classic model of American manufacturer "Fender" but there are many others that are presented as alternatives to this model chosen and that at some point were serious competitors in the market. Below are some of these models.

MARSHALL SUPER-LEAD

Tube amp head created in 1959 that develops an output of up to 100W, which exceeds the requirements set as objectives to choose the draft study. Has, like the Fender Tweed Deluxe, two independent input channels to which must be added the improvement achieved by incorporating a basic equalizer for bass, treble and middle volumes.

Has it included a direct input for effects loop, ie, a point specifically designed to introduce the signal processing prior instrument external to pedal effects, which is not relevant to our project, and consists of 3 preamp and 4 power tubes; ie almost twice as active elements design "Fender Tweed Deluxe".

This abundance of valves is what makes him somewhat to the "Super Lead" the possibility of developing more than twice the power offered "Tweed Deluxe" to its output, but in turn results in an increase in size, weight and final complexity.

Many established artists that have made the Marshall Super Lead mate scenarios like Eddie Van Halen, Angus Young and Jimi Hendrix himself with what is considered, like the "Fender Tweed Deluxe" an amplifier that has marked time and responsible for the sound of bands like The Ramones or Eric Clapton.

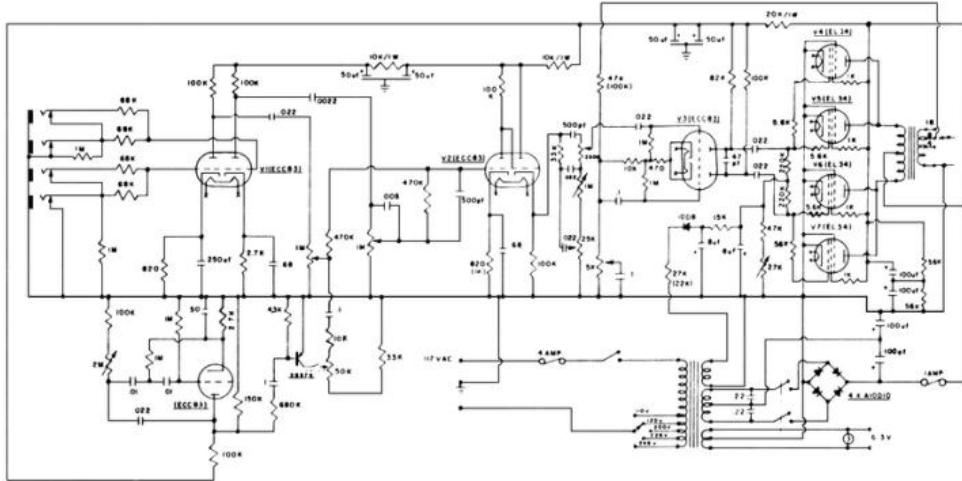


Ilustración 4. Marshall Super Lead scheme.



Ilustración 5. Marshall Super Lead 100W commercial view.

VOX AC30

It is a combo amp (same cabinet includes amplifier and speaker) that has been a symbol for many years to be the sound a benchmark in British music of the 60s essentially is a tube guitar amplifier offers 30W power through two 12-inch speakers, where the output impedance was adjusted between 4, 8 and 16ohms.

Inside it has five ECC83, one ECC82 and four EL-84. Although the mid 90 s it was decided to replace the valve with a bridge rectifier diode; change slightly modified the classic AC30 sound at maximum volume level and which involved the loss of creaminess and sound compression in exchange for greater punch that exceeded 40 watts.

Like the Marshall discussed above, it has two inputs with the notable difference that one is "Top Boost" and adds a rear panel that provides extra gain and tone controls for bass and treble, which revolutionized 1963.

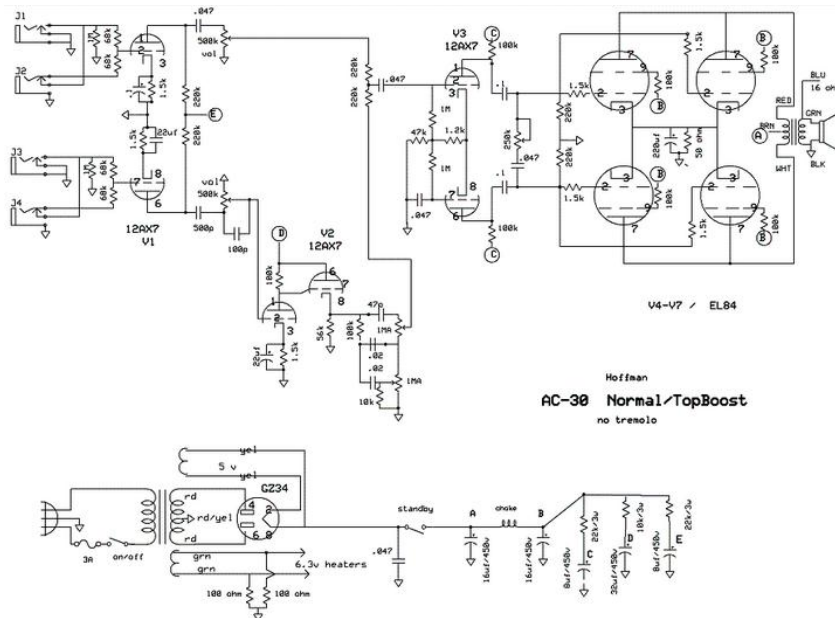


Ilustración 6. Vox AC30 commercial schema.



Ilustración 7. VOX AC30 commercial view.

4. CIRCUIT ANALYSIS

4.1. ANALYSIS OF THE KEY COMPONENTS. THERMIONIC VALVES.

In this section we discuss the main features of the thermionic valve as well as various parameters and factors related to it.

We start dealing with aspects such as mechanical description and the relationship between different physical parts of a valve as well as the basics of amplification, to further deepen the common values of voltage and current in each of the terminals in order to establish a relationship between these values and the outcome of the signal.

Also in this section we present what may be the most interesting theoretical part from the point of view of the technical study with the definition of various terms common in the electronic music.

4.1.1. WHAT IS A VALVE? GENERAL DESCRIPTION

When we speak of a vacuum valve or thermionic we are referring to an electronic component, predecessor to solid state devices, whose function is to regulate the flow of electrons in a certain part of the circuit (hence the valve name) in an "empty environment", adjective derived from the vacuum induced in the interior of the valve to delay the destruction of its components.

Basically, from a low signal intensity between the cathode and the grid, we ensure that a variation of the electron flow between the cathode and the anode is very large allowing to control a high current with a small voltage.

This is a phenomenon known as amplification.

The simplest configuration of this device is called "triode configuration" and is composed mainly of three elements: filament, anode and cathode

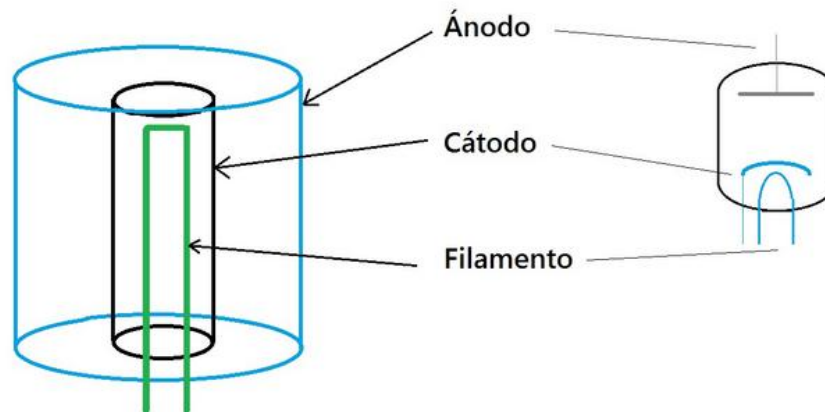


Ilustración 8. Triode definition.

FILAMENT

The filament is the conducting wire with a high melting point that provides enough energy to cathode so it can produce electrons consistently. Thus the filament acts as a heater and the cathode as a separate electrode, which is called indirectly-heated cathode.

Its use will be essential to enable the physical action of electron exchange and power generation in the valve.

ANODE

The anode is a metal plate surrounding the filament in which a potential is applied, in most cases positive. It is the destination of the electrons generated at the cathode and is always at a higher potential (in some cases both may be negative).

The anode receives the flow of electrons, usually accelerated within the valve to acquire great energy, that are transferred to it when they hit it, thereby anodes valves tend to be physically large (such as valves power) becoming part of the valve body with the intention of being directly cooled from the outside.

An effect produced at the anode is the secondary emission. This is an effect that occurs at the anode when the high-energy incident electrons snatch electrons from the metal.

Although in some valves this effect is used to obtain gain in most of them it degrades the signal and should be avoided and it is considered an undesirable effect.

CATHODE

It is the terminal responsible for the emission of electrons flowing to the anode. To achieve this flow, the cathode always be lower than the anode potential may not be zero. Could be a negative or positive value.

The electron emission must be constant over time to ensure proper valve performance and quality amplification, but this is not always the case as the cathode deteriorates over time due to the high temperatures that the device supports.

To prolong the life of the filaments valve manufacturers have worked to reduce the operating temperature of the cathode by the use of materials with potential lower electron extraction (thorium alloys, oxides of lanthanides ...)

Anytime to time be necessary to replace the valve with a new one while still in operation for this reason.

4.1.2. AMPLIFICACIÓN BASADA EN VÁLVULAS. FUNDAMENTOS.

Nos serviremos de un esquema básico de un tríodo (conocido comúnmente como esquema en “cuadripolo” por el hecho de tener 4 terminales) para entender el funcionamiento de una válvula a la hora de amplificar.

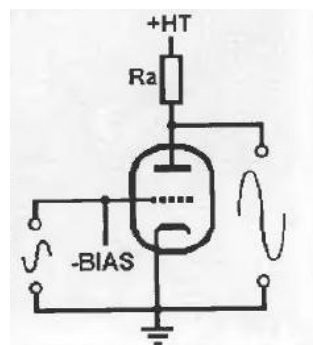


Ilustración 13. Etapa correspondiente a configuración de tríodo.

Como se muestra en la figura anterior, a la izquierda de la imagen se sitúa una señal de entrada (representada mediante una señal senoidal) entre dos terminales. Uno de ellos está unido al cátodo y a tierra a la vez que a uno de los terminales de salida; hablaremos de una configuración de cátodo común para explicar los fundamentos de la amplificación a válvulas.

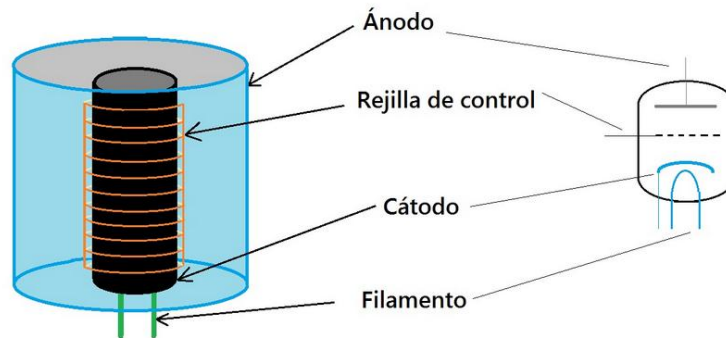


Ilustración 9. Definición de válvula tríodo.

Entre estas parejas de terminales de entrada/salida se ubica la válvula. Esta está conectada a través de los tres terminales ya explicados en apartados anteriores: ánodo, cátodo y rejilla (este último elemento es propio de la configuración de tríodo, siendo doble la rejilla en la configuración de tetrodo o triple en los pentodos), y con ello entran en juego parámetros como:

- Tensión de ánodo (V_a): es la caída de voltaje en la válvula, entre ánodo y cátodo.
- Corriente de ánodo (I_a): corriente que fluye desde el ánodo al cátodo (de mayor a menor potencial).
- Tensión de rejilla (V_g): es el voltaje registrado en la rejilla de control, el cuál regula el flujo de electrones. Hace de válvula, propiamente dicho.
- Tensión entre ánodo y cátodo (V_{ak}): caída de tensión entre ambos terminales de la válvula. Se utiliza para el cálculo de la ganancia.

Una etapa de amplificación está siempre compuesta por una **resistencia de ánodo**, R_a , conectada entre el terminal por donde se suministra la tensión de alimentación (denominado HT, high tensión, al tratarse de tensiones en torno a 250-300 V).

Por defecto, el valor estándar de esta resistencia para válvulas de pequeña señal suele ser de 100K Ohmios, con lo que el diseño del amplificador consistirá en determinar cómo operará la válvula con esta carga de 100K. Esto se define a través de **la línea de carga** y será gracias a este parámetro como estimemos la corriente que atravesará la válvula.

Esta forma de medida consiste en una gráfica en la que se muestran los valores posibles que puede adoptar la **tensión de ánodo** a través del trazado de una línea recta entre el valor máximo de corriente calculado anteriormente (3mA) y el valor máximo de tensión de alimentación que llegará a la válvula (300V, por ejemplo).

Demostración:

Si $V_a=0$. $I_{a\max}=HT/R_a$. Si sustituimos los valores 250V-300V/100kOhmios=**3mA**.

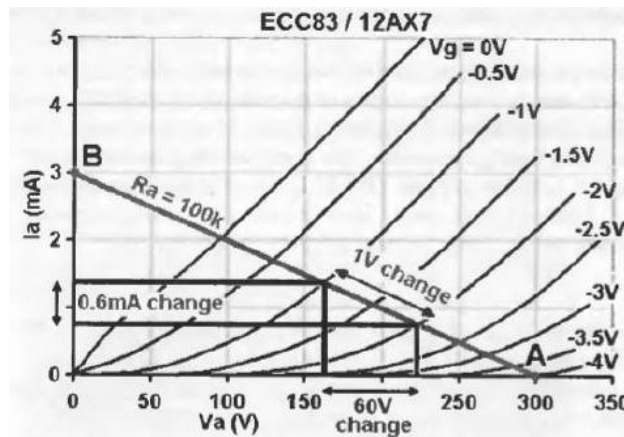


Ilustración 10. Línea de carga a 100k ohmios para un voltaje de 300V.

Concretamente la gráfica de línea de carga define el valor de V_a e I_a para un valor dado de V_{gk} , asumiendo siempre que la tensión de cátodo, es decir, el terminal de la válvula que está a menor potencial, tiene una tensión de 0V.

De esta forma, para una tensión en la rejilla $V_g=-2V$ la corriente que fluye en la válvula desde el ánodo al cátodo es de 0.8mA y el voltaje de ánodo será de 224V. A medida que incrementamos la tensión de la rejilla, a -1V por ejemplo, la corriente en la válvula aumentará hasta los 1.4mA y la tensión en el ánodo disminuirá hasta los 160V, aproximadamente.

A través de este rápido análisis podemos darnos cuenta de que la tensión que llegue a la rejilla es determinante en el comportamiento de la válvula, de ahí la importancia de esta.

Podemos usar la tensión V_g de la rejilla como regulador de toda la válvula, la cual se controlará por medio de una resistencia previa denominada **resistencia de carga o resistencia de bias**.

Este **punto de BIAS** se trata de un determinado voltaje que regula la intensidad de ánodo (I_a) en función de la entrada de tensión por el ánodo (V_a) a partir de la resistencia de carga R_a .

Si la resistencia de carga varía, la tensión de rejilla V_g variará y con ello la tensión y corriente de ánodo.

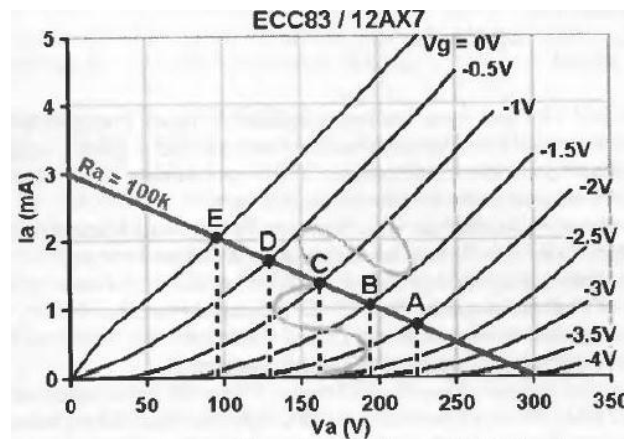


Ilustración 11. Cambios de voltaje de cátodo para una Línea de carga a 100kOhmios para un voltaje de 300V.

Es acertado decir que en una válvula las tensiones requeridas son muy altas mientras que la corriente es relativamente pequeña.

Otro parámetro a tener en cuenta es el **“Cut-off”**, que no es más que el efecto que se produce cuando la parte positiva o negativa de la señal se corta debido a que hemos llegado a una tensión de BIAS máxima. El recorte de la señal dependerá en parte de la resistencia de carga R_a siendo muy alto para resistencias de carga muy altas, y muy bajo para resistencias pequeñas:

- 500K Ohmios = $R_a \gg$: se produce mucho clipping. Los amplificaciones de alta ganancia “high gain” usan típicamente estos valores de resistencia.
- 100 Ohmios = $R_a \ll$: no se produce apenas clipping y se logra una compresión suave, lo cual es difícil de conseguir.

El caso de estudio que nos ocupa se tratará de un diseño en el que el valor de la resistencia de carga adquiera un valor intermedio entre ambos casos con el fin de obtener un amplificador que permita la interpretación de distintos estilos musicales, ganando en versatilidad.

Esta resistencia de carga no podrá ser regulable mediante un potenciómetro debido a que la variación de esta resistencia produce ruidos al variar la corriente, es más costoso en cuanto a términos de diseño y no tendría sentido incluirla en el diseño comercial ya que la tendencia del mercado es hacia la simplificación y no en el camino de dar al usuario total control sobre todos los parámetros que influyen en la amplificación porque esto puede desencadenar un mal funcionamiento y la obtención de resultados no esperados debido al desconocimiento en muchos casos de la relación existente entre estos parámetros.

Relacionado con el clipping está lo que se conoce como **“Headroom”**: sensibilidad de entrada y umbral de clipping. Se trata del punto en el que se produce máximo clipping, originado por un corte de ambas partes de la señal (positiva y negativa). Esto proporciona el clipping máximo y con ello un alto headroom que se traduce en una mayor sensibilidad en la etapa de amplificación.

Mayor HT (high tensión) suministrada a la válvula = mayor Headroom al desplazar la línea de carga hacia la zona de altas tensiones.

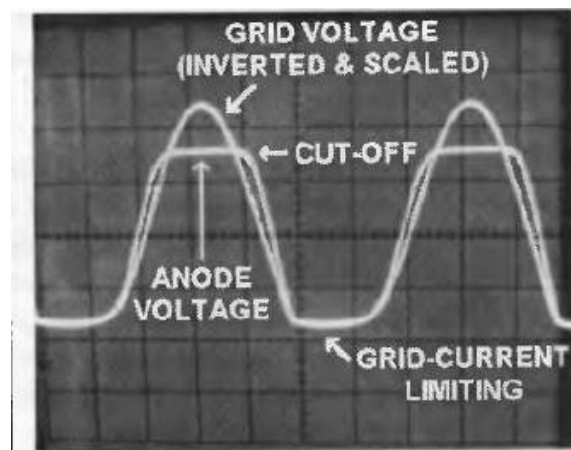


Ilustración 12. Clipping obtenido en una válvula ECC83.

Por último hablaremos del **“Warm Biasing”**, que se trata de un voltaje de BIAS característico por su bajo valor con lo que deja fluir más corriente por el ánodo. Esto se traduce en un mayor calentamiento de la válvula y desencadena un sonido característico de la música “blues”.

Un ejemplo que relaciona todos los conceptos anteriormente mencionados es el caso de diseño del mítico amplificador a válvulas “Soldano SL0100”.

Se trata de un amplificador mundialmente conocido y usado por artistas de la talla de Marc Knopler, Eric Clapton o Jimi Page por su característico sonido.

Parte del secreto de este sonido reside en la resistencia de ánodo que tiene configurada este amplificador ($R_a=39K\Omega$) en la tercera etapa, en lugar de los 100K Ω mencionados anteriormente como resistencia estándar.

Esta resistencia ubicada en la tercera etapa le da gran sustain y aporta riqueza en cuanto a armónicos se refiere.

Además, comparando el valor de esta resistencia de carga con otros diseños de amplificadores, se ha observado de que se trata de un valor muy típico en amplificadores fabricados para la interpretación de heavy metal debido a su respuesta en frecuencia, con lo que podemos llegar a entender lo determinante que puede llegar a ser la elección del valor de un componente en la respuesta de la válvula.



Ilustración 13. Soldano SLO 100.

4.1.3. ELECTRONES Y CORRIENTE DENTRO DE UNA VÁLVULA

La corriente fluye normalmente desde el ánodo al cátodo, corriente causada por la conexión del filamento a potencial eléctrico, el cual provoca un calentamiento de este.

Al calentarse el filamento se calienta también el cátodo, el cual está conectado a potencial negativo (saturado de electrones, carga negativa). Estos electrones serán emitidos por el cátodo y recogidos por el ánodo.

Entre el cátodo y el ánodo el medio será el “vacío” aunque en algunos casos podría tratarse gases (en función del diseño).

No ocurriría lo mismo en el proceso inverso, en el cual el ánodo estuviese a menor potencial que el cátodo. En ese caso la válvula se comporta como un diodo de tal forma que solo deja fluir los electrones en un sentido. Esto ocurre porque el ánodo no está situado próximo al filamento y no obtiene la suficiente temperatura como para que los electrones se exciten y se cree una nube de electrones.

Este es el caso que se presentaría cuando en un amplificador a válvulas, como es el caso de estudio, se produce el encendido y se procede a amplificar sin haber colocado el dispositivo en “stand by” previamente para permitir el calentamiento de las válvulas. Se estaría tratando de realizar la amplificación en base a varias válvulas de vacío que no están en condiciones válidas de funcionamiento y por las cuales el flujo de electrones entre ánodo y cátodo no se está produciendo, con lo que existe un bloqueo de la señal impidiéndose así la amplificación.

4.1.4. CURVAS CARACTERÍSTICAS QUE DEFINEN EL COMPORTAMIENTO DE UNA VÁLVULA. CONSTANTES.

En esta sección trataremos los parámetros más importantes a tener en cuenta en el diseño de un amplificador. ¿Qué debemos saber y qué parámetros debemos tener en cuenta a la hora de diseñar nuestro amplificador? ¿Qué elementos determinan y limitan la respuesta de nuestro diseño? A continuación se presenta una relación de estos:

- Características estáticas del ánodo.

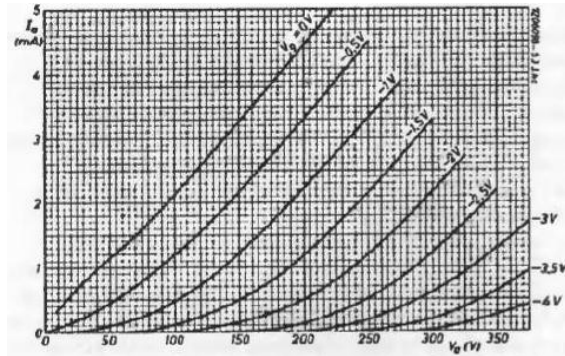


Ilustración 14. Características estáticas del ánodo en una válvula ECC83.

Se trata de una información básica a la hora de diseñar el circuito de amplificación ya que nos indicará cómo la válvula operará en el circuito.

Se puede encontrar en forma de gráfica, la cual es muy usada a la hora de determinar o predecir el comportamiento de una válvula en el circuito siempre hablando en términos de linealidad. Estos valores son referenciados con respecto al voltaje de cátodo (que en ocasiones es cero, GND, pero no siempre es así).

En la gráfica se identifica en el eje Y la corriente de ánodo frente a la tensión de ánodo.

- Características dinámicas.

Estas definen el voltaje de BIAS frente a la corriente de ánodo para diferentes valores de tensión de ánodo, lo cual es un buen indicador del comportamiento de la válvula en términos de linealidad.

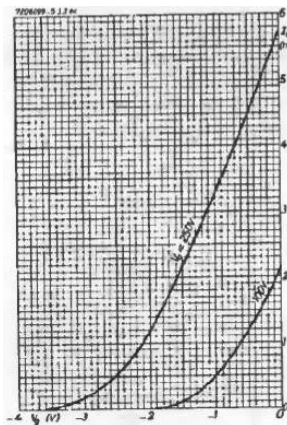


Ilustración 15. Función de transferencia de una válvula de pre-amplificación 12AX7.

4.1.5. CASO DE USO CONCRETO. LA VÁLVULA RECTIFICADORA.

Como se comentaba en el punto anterior, la corriente definida como flujo de cargas positivas fluirá en sentido contrario al de los electrones: desde el ánodo al cátodo.

Debido a este comportamiento surge uno de los principales usos de la válvula de vacío: **la válvula rectificadora de corriente alterna**. La clave está en que deja pasar únicamente los ciclos que polarizan la válvula correctamente. Se requerirán además condensadores que aguanten altas tensiones para transformar la corriente alterna en continua.

Posteriormente se observa cómo es uno de los usos que ha adoptado la válvula en el diseño que se presenta en este proyecto.

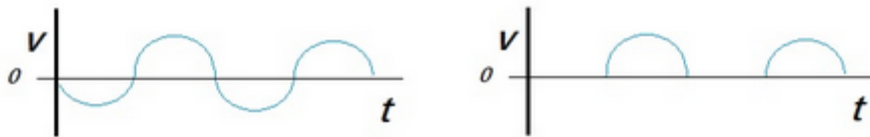


Ilustración 16. Efecto de una válvula rectificadora de corriente sobre una señal senoidal.



Ilustración 17. Válvula rectificadora 5A4R utilizada en el proyecto.

4.1.6. EL TRIODO EN UNA ETAPA DE PREVIO

El triodo no es más que una evolución de la válvula diodo comentada anteriormente incorporando la rejilla de control.

La función de esta será la de entorpecer o acelerar el tránsito de electrones que fluyen entre ánodo y cátodo. La rejilla está polarizada negativamente con respecto al cátodo, con lo que los electrones que salen del cátodo y se dirigen al ánodo encuentran un obstáculo, el cual es regulable. Cuanto más negativamente cargada esté mayor será la resistencia que opondrá a ser cruzada por los electrones que salen del cátodo, permitiendo así un mayor control sobre el tránsito de electrones y, por tanto, sobre la corriente que atraviesa el dispositivo.

- $V_g < 0$ la rejilla es negativa con respecto al cátodo y la corriente de placa disminuye.
- $V_g = 0$ la rejilla está al mismo potencial que el cátodo y es como si no existiera (sería un diodo).
- $V_g > 0$ la rejilla es positiva con respecto al cátodo y algunos electrones se van por ella (no se utiliza).

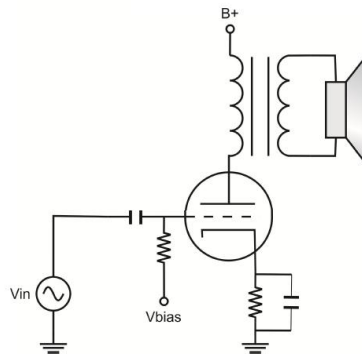


Ilustración 18. Válvula de vacío. Esquema perteneciente a un triodo.

4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL Y DEFINICIÓN DE ESPECIFICACIONES DEL AMPLIFICADOR.

4.2.1. REQUISITOS TECNICOS PARA EL DISEÑO

Dado que se busca lograr un sonido propio de los años 70, partiremos del esquema de referencia “Fender tweed Deluxe” el cual cumple con gran parte de los requerimientos que se exigen al presente proyecto. Estos son los siguientes:

- Se requiere que la etapa de entrada sea multicanal, al menos con dos entradas, con el objetivo de obtener un prototipo versátil y adaptable a distintos estilos musicales.
- Que su elemento activo de amplificación sea la válvula. Tras el análisis realizado y teniendo en cuenta las tendencias del mercado y los beneficios aportados por el elemento activo en torno al que gira el presente documento, se requiere que la etapa de previo esté compuesta de, al menos, 2 válvulas de previo y que la etapa de potencia entregue 20W por medio de más de una válvula.

Para la elección del modelo de válvula se basará el diseño en configuraciones y combinaciones previamente probadas en modelos míticos, como es el caso.

- Existen limitaciones de espacio y peso lo cual requiere ajustar el sobredimensionamiento de los componentes. Cualquier prototipo resultante que pese más de 15 kg no cumplirá los requerimientos.
- El amplificador estará diseñado para ser conectado a una pantalla de 2x12 o 4x12 conos con impedancias de 8 ohmios, ya que es la impedancia que se tiene en el banco de pruebas.
- En cuanto a la ecualización y control sobre la respuesta en frecuencia de la señal, selectores básicos de volumen de canal, volumen general, y control de agudos y graves.
- Se requiere un indicador luminoso para indicar de forma visual cuándo está el amplificador en “Modo ON/OFF” y percibir el momento en que comienzan a alimentarse los filamentos de las válvulas.

- Los componentes pasivos utilizados para el diseño han de estar diseñados para soportar tensiones de 600V.
- Debido a las altas temperaturas alcanzadas por las válvulas, se requieren zócalos cerámicos que resistan sin problema ante el deterioro.
- Las conexiones entre los distintos elementos han de realizarse mediante el trenzado de los cables para evitar los fenómenos de diafonía y la inclusión de interferencias en el sistema, llegando a usarse cable apantallado si fuese necesario.

4.3. DIAGRAMA Y DEFINICIÓN DE BLOQUES FUNCIONALES.

De una forma generalista, se presenta el diagrama de bloques funcionales que permiten hacerse una idea aproximada de la distribución que tomará el circuito del diseño y del orden en que la señal del instrumento irá atravesando hasta llevar al altavoz ubicado a la salida de la “etapa de salida”.

A continuación se detalla la funcionalidad de cada una de estas etapas.

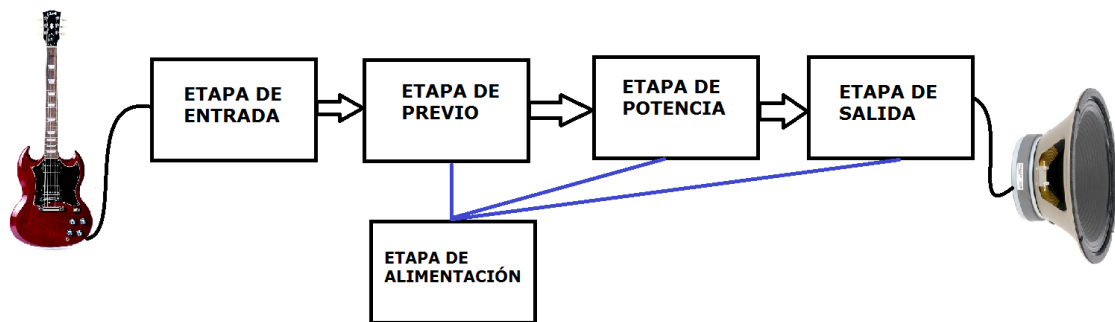


Ilustración 19. Diagrama de bloques funcionales.

4.3.1. ETAPA DE ALIMENTACIÓN

Etapa encargada de transformar la tensión de entrada procedente de la red eléctrica a las diferentes tensiones de trabajo que se demandan en las distintas partes del circuito. Su tamaño condiciona bastante las dimensiones del diseño. Concretamente, a la hora de escoger un modelo de transformador en el mercado, tendremos que tener en cuenta varias cosas:

- Tensión de entrada en el primario: en función del territorio en que vayamos a hacer uso del amplificador, la red eléctrica provee de 125V, 220V o 240V.

Existe también una solución de “primario múltiple” en el que se permite la selección de la tensión de entrada en el transformador y es este el que se encarga de adaptar la tensión de entrada a las tensiones demandadas en cada parte del circuito. Esta última opción no será incluida en el diseño del presente proyecto debido a que no se considera relevante ni prioritaria la adaptación a distintos valores de tensión de entrada.

- Secundario: a diferencia del primario, el secundario siempre será múltiple, tendrá varios devanados ya que es imprescindible disponer de diferentes tensiones para alimentar el circuito. A continuación se presenta una relación conceptual de las tensiones necesarias en el circuito:
 - Alta tensión (entre 200V y 500V) para alimentar el ánodo de las válvulas.
 - Tensión para filamentos de las válvulas de pre-amplificación y potencia.
 - Tensión de BÍAS (en el caso de que sea necesario): se trata de una tensión negativa que se suministra en cierta parte del circuito para fijar el punto de trabajo de las válvulas de potencia.
 - Tensión para filamentos de la válvula rectificadora. Será necesaria la obtención de una tensión determinada para alimentar los filamentos que contiene la válvula de vacío que hace la función de rectificar el voltaje de alimentación.

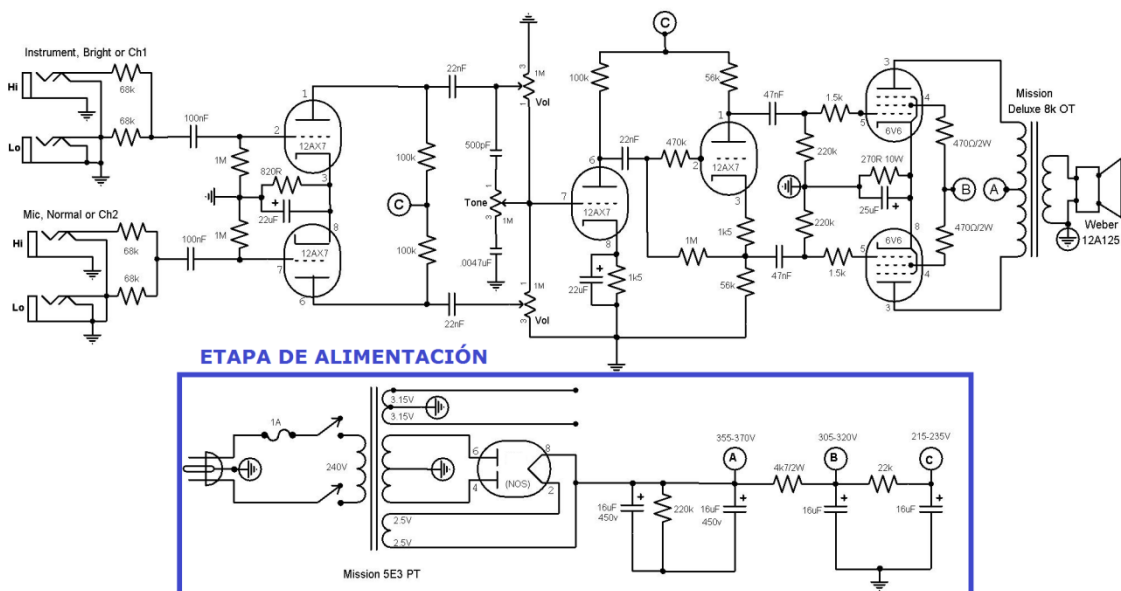


Ilustración 20. Ubicación de la etapa de alimentación en el circuito.

4.3.2. ETAPA DE ENTRADA

Se trata de la primera zona que se presenta en el circuito. Su función principal es la de adecuar la señal, adaptando los niveles de la señal de entrada proveniente del instrumento para que sean aptas a la hora de ser introducidas en el amplificador de audio.

Este tipo de etapas son necesarias debido a que la señal generada directamente por una guitarra eléctrica es de muy poca amplitud (normalmente entre 100mV y 1V) y, como consecuencia, muy susceptibles al ruido e interferencias en el circuito.

En algunos casos la función de la etapa de entrada la hará directamente la etapa de previo aunque no es el caso.

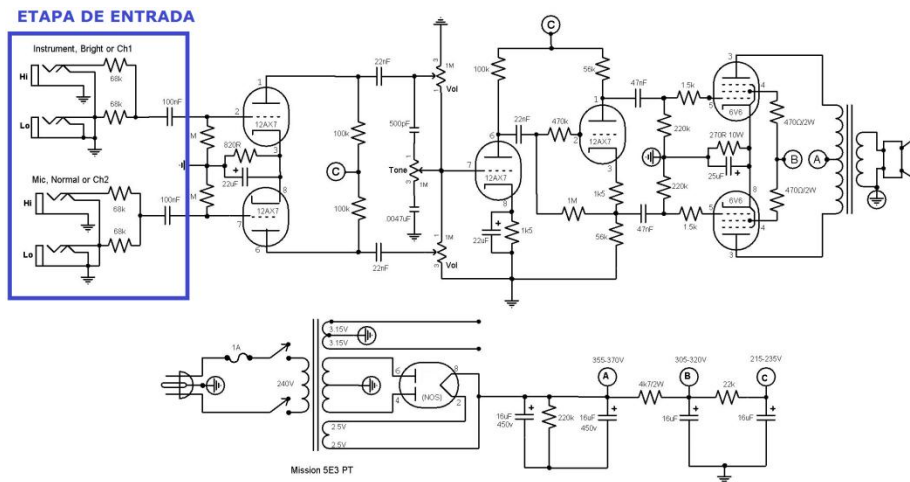


Ilustración 21. Ubicación de la etapa de entrada en el circuito.

4.3.3. ETAPA DE PREVIO

Es la parte del circuito en que se procesa la señal de entrada con el objetivo de llegar totalmente caracterizada a la etapa de potencia. En esta etapa se produce el denominado ajuste de ganancia, es decir, se amplifica la señal de entrada hasta el nivel deseado, y también incluye el ecualizador y el divisor de fase.

Será aquí donde empiecen a tomar importancia el uso de las válvulas, ya que esta etapa es la responsable de una gran parte del “cuerpo” y el “carácter” final del amplificador, y una válvula como elemento de amplificación le proporcionará una mayor contribución de armónicos a la señal original proveniente del instrumento.

Sin duda será determinante en el resultado final del amplificador y tendrá mucho peso en la determinación del timbre.

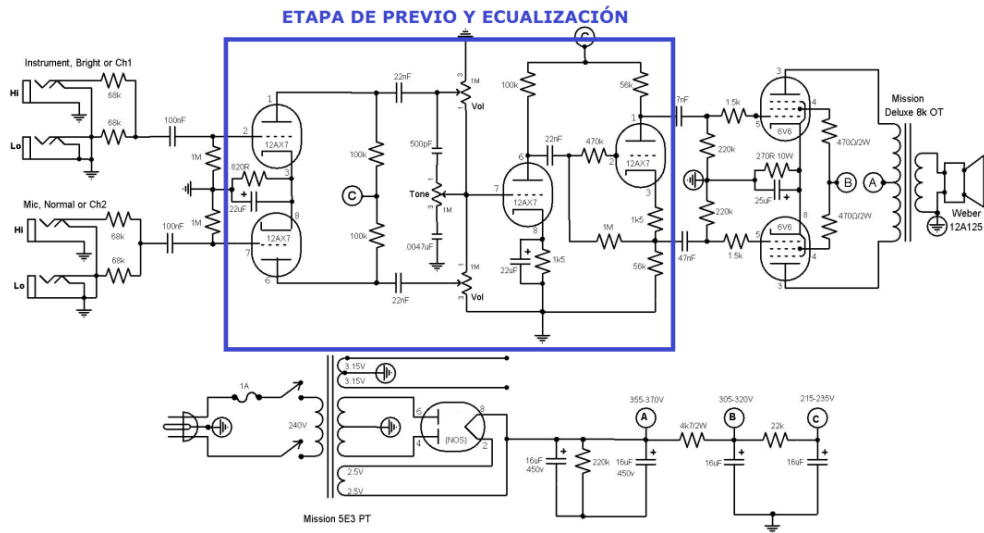


Ilustración 22. Ubicación de la etapa de previo y ecualización.

VÁLVULAS DE PREVIO - 12AX7/12AY7

Al igual que la inmensa mayoría de los amplificadores, el diseño en cuestión cuenta con válvulas de pre-amplificación del tipo 12AX7 cuyas especificaciones están claramente definidas. Quizás la más relevante a la hora de ser usadas es poseer una ganancia=100 y funcionar con una corriente de alrededor de 1,2 amperios. A continuación se presenta la tabla de especificaciones perteneciente a dicha válvula:

CHARACTERISTICS AND TYPICAL OPERATION

CLASS A₁ AMPLIFIER, EACH SECTION

Plate Voltage	100	250 Volts
Grid Voltage	-1	-2 Volts
Amplification Factor	100	100
Plate Resistance, approximate	80000	62500 Ohms
Transconductance	1250	1600 Micromhos
Plate Current	0.5	1.2 Milliamperes

* With external shield (RETMA 315) connected to cathode of section under test.

Ilustración 23. Características y valores típicos de operación de la 12AX7.

4.3.4. ETAPA DE POTENCIA

Es la etapa colocada al final del circuito, encargada de elevar la potencia de la señal de entrada de cara a su inyección en la etapa de salida. Concretamente la válvula de potencia es la encargada de convertir el sonido amplificado por el pre-amplificador en un impulso eléctrico mucho mayor, capaz de mover la membrana de los altavoces cuya energía demandada es alta.

Aunque en algunos casos se crea que el transformador de salida es el responsable del sonido obtenido al final de la cadena, es mucha la importancia de la válvula de potencia y de la válvula inversora de fase.

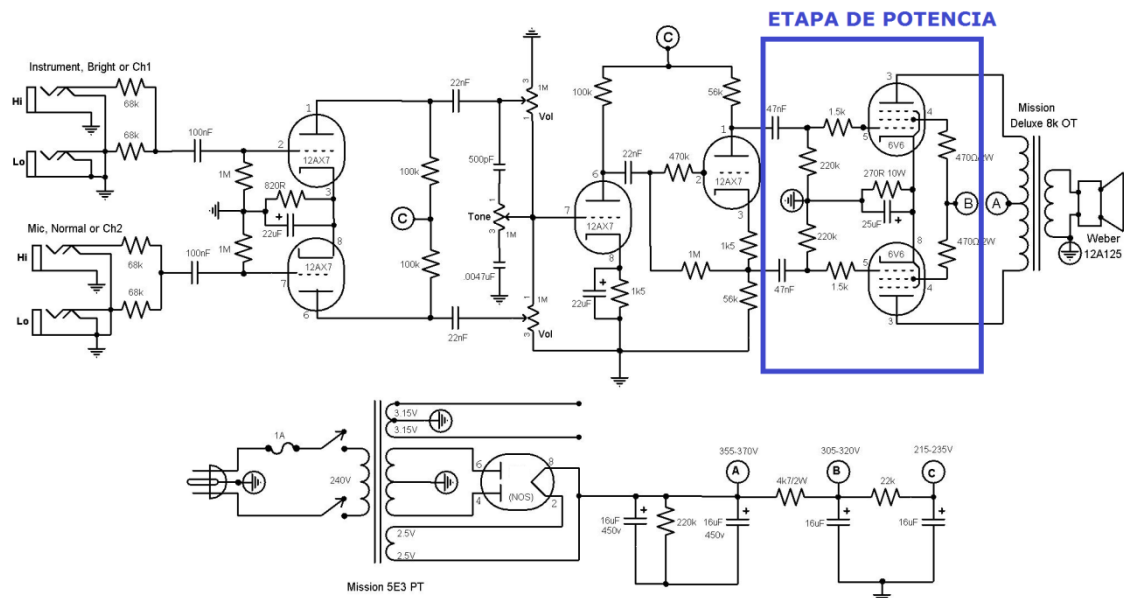


Ilustración 24. Ubicación de la etapa de potencia en el circuito.

LA VÁLVULA DE POTENCIA 6V6.

La válvula de potencia usada en nuestro diseño es la 6V6. Se trata una de las cuatro válvulas más usadas en cualquier amplificador (junto con la EL34, EL84 o 6L6).

Es importante tener en cuenta que el empleo de una válvula de potencia va mucho más allá del simple hecho de aportar la suficiente potencia a la etapa de salida para lograr la excitación del altavoz que se encargará de proyectar el sonido.

La elección de un modelo u otro supone la elección o renuncia de ciertos matices de sonido y podríamos decir que existe una relación muy estrecha entre el modelo utilizado y el resultado final del sonido.

Algunos expertos se refieren a esta relación con la siguiente expresión: ‘la válvula de potencia podría asemejarse a la “raza” del amplificador mientras que las válvulas de pre-amplificación ayudan a potenciar o mermar ciertos aspectos de dicha raza’. Y es que, aunque la etapa de previo es la más influyente en cuanto al timbre del sonido, los elementos encargados de suministrar la potencia a los altavoces también gozan de influencia en cuanto a resultado final de este.

Por ello se escoge la válvula, aunque en este caso de potencia, para lograr un sonido puramente valvular. Estas válvulas, a diferencia de la etapa de previo, suelen ser tetrodos o incluso pentodos, los cuales han de soportar tensiones de más de 350 voltios y poseen un factor de amplificación de 10. A continuación se muestra una tabla extraída del datasheet de la válvula empleada en el diseño que nos ocupa.

PUSH-PULL CLASS AB₁ AMPLIFIER, VALUES FOR TWO TUBES			
Plate Voltage	250	285	Volts
Screen Voltage	250	285	Volts
Grid-Number 1 Voltage	-15	-19	Volts
Peak AF Grid-to-Grid Voltage	30	38	Volts
Zero-Signal Plate Current	70	70	Milliamperes
Maximum-Signal Plate Current	79	92	Milliamperes
Zero-Signal Screen Current	5.0	4.0	Milliamperes
Maximum-Signal Screen Current	13	13.5	Milliamperes
Effective Load Resistance, Plate-to-Plate	10000	8000	Ohms
Total Harmonic Distortion	5	3.5	Percent
Maximum-Signal Power Output	10	14	Watts
AVERAGE CHARACTERISTICS, TRIODE CONNECTION*			
Plate Voltage	250	250	Volts
Grid-Number 1 Voltage	-12.5	-12.5	Volts
Amplification Factor	9.8		
Plate Resistance, approximate	1960		Ohms
Transconductance	5000		Micromhos
Plate Current	49.5		Milliamperes
Grid-Number 1 Voltage, approximate $I_b = 0.5$ Milliampere	-36		Volts

Ilustración 25. Características y valores típicos de operación de la válvula 6V6.

4.3.5. ETAPA DE SALIDA

Por etapa de salida entendemos una inyección de corriente proveniente del circuito sobre un transformador y un altavoz solamente.

El uso de un transformador de salida en la etapa de salida del circuito es debido a que la corriente que generan las válvulas de potencia no es suficiente para conseguir adaptar las altas impedancias que se manejan en el circuito a la requerida por el altavoz (4, 8 o 16 Ohmios).

Como siempre el tamaño juega un papel fundamental en diseño del producto, con lo que será necesario un minucioso estudio de las tensiones y corrientes que ha de entregar el transformador de salida para calcular el modelo comercial que más se asemeja optimizando así el espacio que ocupará y el peso que añadiría al prototipo final.

Ambos transformadores empleados (transformador de alimentación y transformador de salida) aportan más del 50% del peso del amplificador. Sobredimensionarlos significaría aumentar el margen de seguridad y disminuir el riesgo de que uno de nuestros transformadores se viera afectado por una sobretensión, pero a su vez implicaría un aumento considerable del precio, tamaño y peso del elemento, lo cual no es interesante para nuestro diseño.

5. PROCESO DE DISEÑO A NIVEL DE CIRCUITO.

En este apartado se presenta un análisis en profundidad de todas las etapas involucradas en el diseño del circuito desde el punto de vista de valores nominales de los componentes, poniendo especial atención en profundizar acerca de la funcionalidad de cada uno de los componentes y de la influencia de estos sobre la señal sonora.

5.1. ESTUDIO DEL PROBLEMA DE DISEÑO

El principal problema que se nos presenta es conseguir la potencia deseada y la calidad sonora requerida con el mínimo presupuesto, es decir, con el menor número de componentes. Para ello será necesario reducir el diseño al máximo de tal forma que cada una de las etapas anteriormente presentadas aprovechen los recursos de otras sin alterar ni afectar al funcionamiento del circuito.

Otra de las limitaciones que nos encontramos a la hora del diseño del amplificador es el dimensionamiento de los componentes. Concretamente hablamos del dimensionamiento de los dos transformadores anteriormente presentados.

La dimensión de estos transformadores así como su peso limitarán en gran medida la funcionalidad del amplificador a la vez que afectarán a su “versatilidad”, la cual es condición indispensable como requisito de fabricación.

Estos factores serán siempre considerados como referencia a la hora de tomar decisiones ante la posibilidad de montar diferentes componentes o elementos dentro de nuestro circuito final.

5.2. OBJETIVOS DE DISEÑO. ESPECIFICACIONES.

La definición de las especificaciones de un diseño a nivel de circuito tiene la finalidad de determinar los valores de cada uno de los componentes involucrados en el diseño del circuito.

Para ello se empleará el conocimiento adquirido durante la formación universitaria además de hacerse uso de numerosa bibliografía de referencia para la resolución de dudas en cuanto a la toma de decisiones.

Es importante remarcar que la mayoría de las consultas realizadas se han obtenido del libro de referencia “Designing tube preamps for guitar and bass”, cuyo detalle se incluye en la bibliografía que figura en este documento.

5.3. DESCRIPCIÓN DE COMPONENTES MÁS IMPORTANTES Y DETERMINACIÓN DE VALORES.

A continuación se presentan cada una de las partes implicadas en la amplificación, las cuales son responsables en cierta medida del grado de ganancia obtenido a la salida del circuito así como de las características que pueda tener la señal resultante.

Fundamentalmente es posible dividir el circuito en 5 partes bien diferenciadas: alimentación, etapa de entrada, etapa de previo y ecualización, etapa de potencia y etapa de salida.

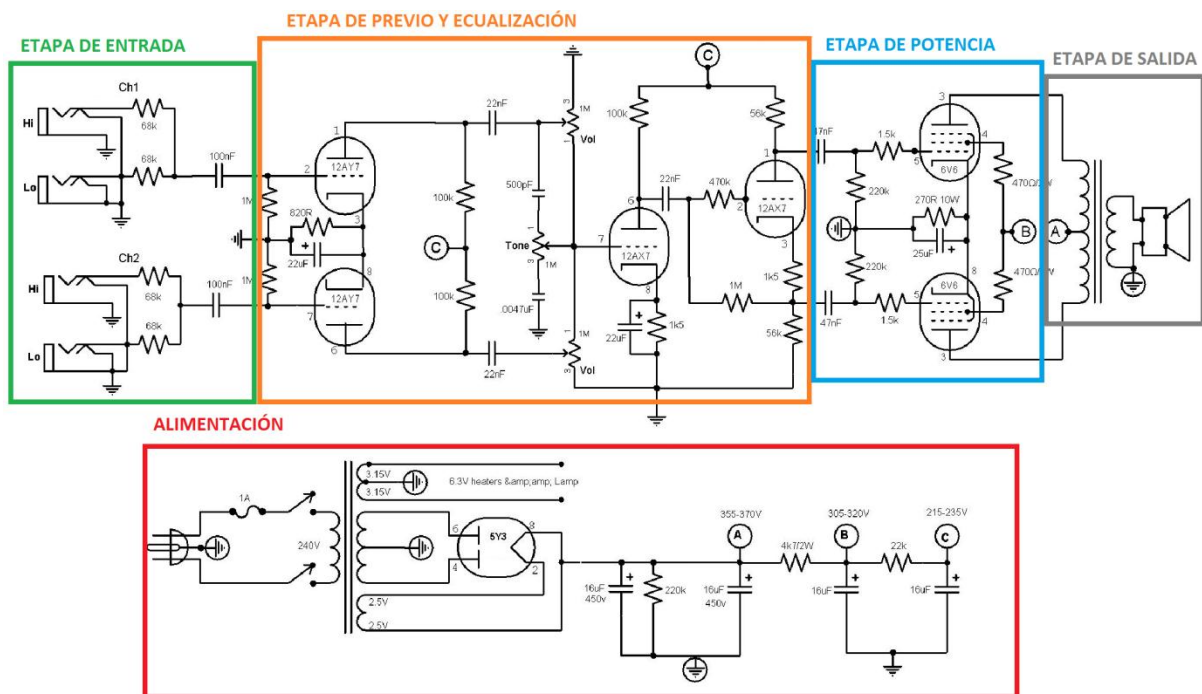


Ilustración 26. División de etapas en el esquema Tweed Deluxe.

5.3.1. ALIMENTACIÓN

El bloque de alimentación es una parte fundamental del diseño. Debe proporcionar, a partir de un valor de tensión a la entrada de 230V, diferentes tensiones para alimentar al circuito en función de sus necesidades.

Tiene como principal cometido proporcionar suministro eléctrico al circuito, es decir, suministrar las diferentes tensiones que se demandan en las distintas partes de este: alimentación de los filamentos de las válvulas, alimentación de los terminales de la válvula rectificadora y alimentación del piloto/led que va a ser usado para indicar que el dispositivo se encuentra activo.

Fundamentalmente se compone de cuatro partes bien diferenciadas: acometida de entrada, transformador de entrada, válvula rectificadora y el banco de filtros.

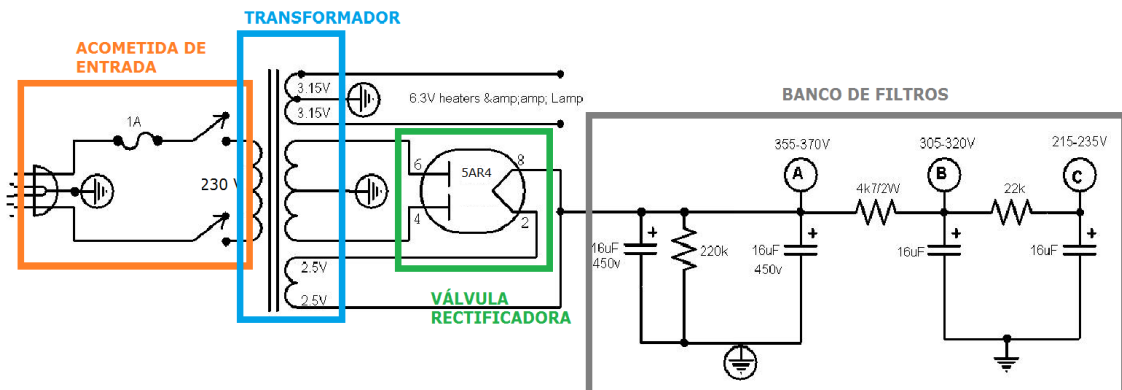


Ilustración 27. Vista por etapas de la fuente de alimentación.

ACOMETIDA DE ENTRADA

Se trata de la parte del circuito que tiene contacto directo con la red eléctrica que suministrará la energía necesaria para hacer funcionar el circuito.

Está compuesta por una protección (fusible) de alrededor de 1A, es decir, presenta la resistencia suficiente como para aguantar una alimentación normal de la red pero se destruirá en caso de percibir una sobrealimentación o un pico eléctrico a la entrada; lo que aísla el

circuito de posibles sobrecargas y evita la degradación o destrucción de algunos componentes delicados del circuito como pueden ser las válvulas o el propio transformador.

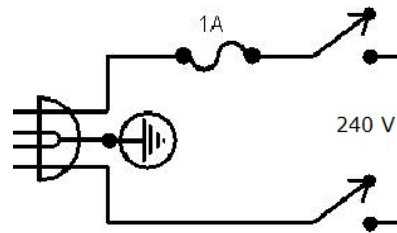


Ilustración 28. Etapa de entrada.

Transformador de alimentación.

La principal función del transformador de entrada es la de suministrar distintos valores de tensión a su salida a partir de una única tensión de entrada. En este caso la tensión de entrada serán 230V al encontrarse pensado el prototipo para el mercado europeo, y la de salida estará determinada por la tensión a la que se alimenten las válvulas escogidas en las especificaciones, la tensión de alimentación del piloto usado para saber identificar cuándo esté funcionando o no (alrededor de 6,3V) y la tensión que demandan en los filamentos de las válvulas para lograr la temperatura adecuada de funcionamiento. Los valores de todos ellos se determinan a continuación:

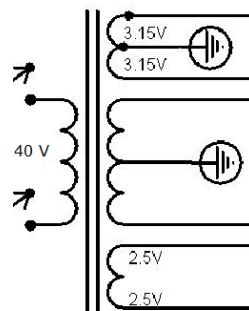


Ilustración 29. Tensiones requeridas en transformador de entrada para alimentación del circuito.

Debido a las altas tensiones que debe soportar durante tiempo prolongado y la necesidad de proporcionar varios terminales desde diferentes partes del bobinado, es habitual que se trate de un dispositivo voluminoso en el que el peso y el tamaño sean notables con respecto al resto de componentes del circuito. Este componente será determinante a la hora de determinarse las dimensiones y peso mínimo del amplificador.

A continuación se muestra en detalle las tensiones proporcionadas por el transformador utilizado en el diseño obtenido del datasheet proporcionado por el fabricante (Hammond).

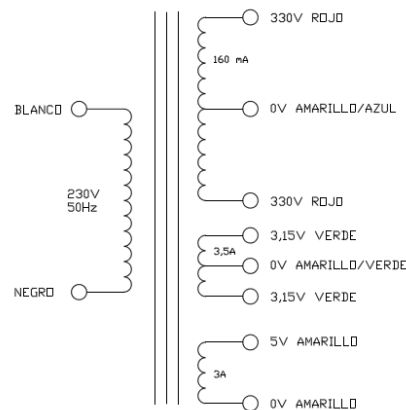


Ilustración 30. Transformador de alimentación utilizado en el diseño. Tensiones devanados.

En cuanto a la alimentación de los filamentos de las válvulas podemos decir que es normalizada y requiere en la mayoría de los casos una tensión eficaz de 6.3V. Esta tensión será la responsable de fijar la temperatura de trabajo de la válvula y determinar el flujo de electrones se genera en el cátodo. Esta tensión puede ser suministrada tanto en AC como en DC presentando ambos métodos sus ventajas e inconvenientes.

La alimentación en AC resulta, en primer lugar mucho más sencilla de implementar, puesto que la mayoría de los amplificadores de alimentación para circuitos valvulares incorporan un bobinado auxiliar, con terminal intermedio accesible o no, que proporcionan tensiones alternas de 6,3Vef ó 12,6Vef a la frecuencia de la red existente.

El problema que podría presentar una válvula con filamento alimentado con AC es zumbido de red (hum), debido a las variaciones de temperatura entre ciclo y ciclo. En la práctica, las variaciones de temperatura en el filamento son muy lentas, por tanto este efecto es mínimo para frecuencias de red de 50/60Hz.

Si por el contrario determinásemos la alimentación de los filamentos a través de DC necesitaríamos de circuitos adicionales que acondicionen y regulen la tensión de los filamentos para su correcto funcionamiento, reduciendo así el zumbido o ruido de fondo provocado por la corriente alterna.

En el caso de estudio que nos ocupa se requerirá una válvula rectificadora para pasar de la tensión en alterna suministrada por el transformador a corriente continua

VÁLVULA RECTIFICADORA

Se trata de una válvula, similar a las de previo y potencia en aspecto, pero cuya misión es rectificar la tensión alterna de alta tensión que proviene del secundario del transformador de alimentación para lograr la tensión en continua que el amplificador necesita para funcionar.

El hecho de lograr las tensiones requeridas por el circuito así como una señal en continua lo más estable posible es básico para el buen comportamiento del amplificador

Esta acción de rectificado podría realizarse mediante diodos, la cual es más robusta y menos propensa a sufrir fallos de rectificación al tratarse de ser un componente electrónico menos frágil y delicado.

El motivo de usar válvulas para la rectificación reside en que, a diferencia de los diodos cuya respuesta es muy rápida, la rectificación a válvulas es más agradable al oído al poseer una saturación muy natural.

Definitivamente la elección de una u otra opción es cuestión de preferencias y gustos con lo que nos decantaremos por las válvulas ya que es precisamente el resultado que se busca en el diseño, una amplificación cremosa apta para interpretar música blues, rock...

En cuanto al modelo escogido, nos decantamos por una válvula muy popular de fabricación rusa: Sovtek 5AR4.

BASING DIAGRAM

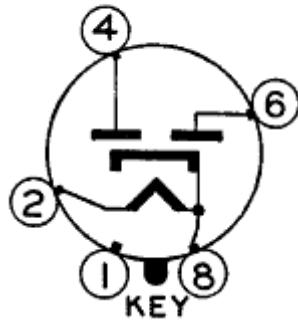


Ilustración 31. Válvula rectificadora de fabricación rusa: Sovtek 5AR4.

BANCO DE FILTROS

Se trata de un conjunto de condensadores y resistencias que posibilitan la obtención de diferentes tensiones a partir de una misma tensión inicial.

Básicamente consiste en 3 condensadores de elevado valor y resistentes frente a altas tensiones, 16uF/450V, que conformarán junto a las resistencias un filtro RC encargado de eliminar el rizado que pueda tener la señal procedente de la válvula rectificadora para enviar al circuito la tensión requerida en condiciones óptimas.

Por otra parte, las resistencias que completan el banco de filtros tienen el cometido de servir de caída de tensión para posibilitar el suministro de distintas tensiones a partir de la misma fuente.

A su vez, una vez que el amplificador sea desconectado de la corriente, estas resistencias desempeñarán el trabajo de descargar los condensadores que quedan cargados, evitando así riesgos en la manipulación del dispositivo.

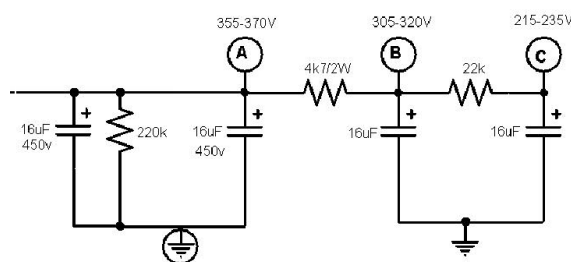


Ilustración 32. Banco de filtros ubicado en la alimentación del amplificador.

Cada una de las etiquetas que figuran en el terminal positivo de los condensadores (A, B y C) suponen una referencia a la hora de introducir esa tensión en el circuito e irán conectados a los ánodos de las válvulas de previo (al terminal de alto potencial, HT, como se define al principio del documento), la rejilla de control de las válvulas de potencia (tensión de "Grid", Vg) y el transformador de salida (terminal A).

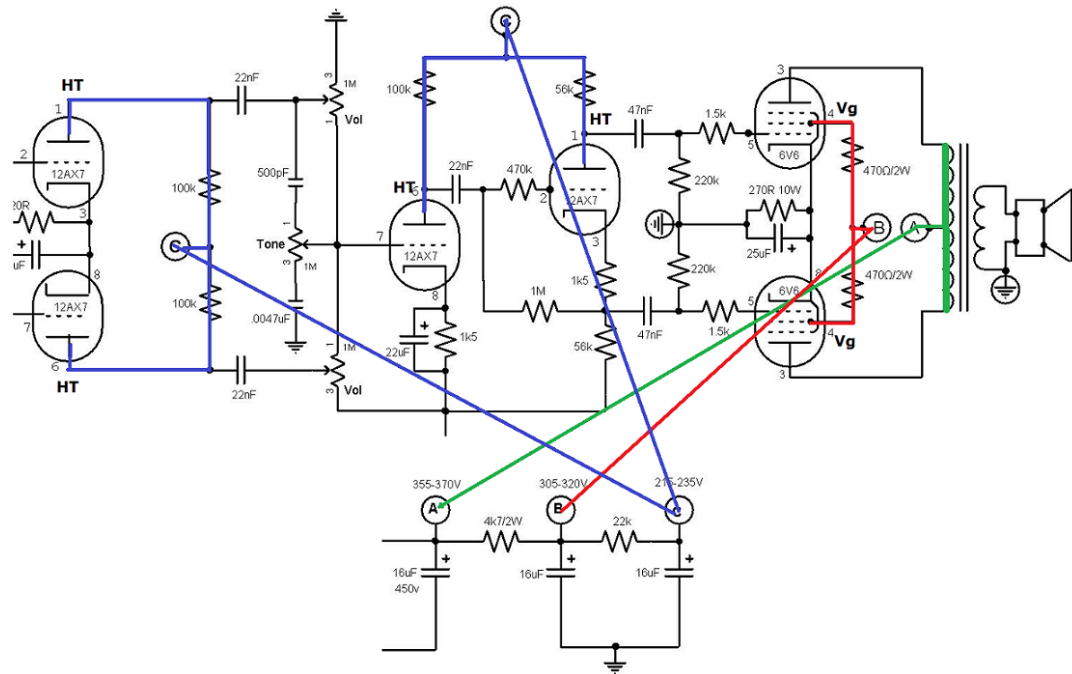


Ilustración 33. Conexión de terminales al banco de filtros.

5.3.2. ETAPA DE ENTRADA

Será por donde se inserta la señal de entrada al circuito proveniente de un instrumento. En el diseño del circuito actual permite la entrada multicanal, es decir, la posibilidad de introducir en el circuito señales por entradas diferentes y manejarlas con controles aislados.

En este caso, el control de cada uno de los canales se ha realizado a través de dos potenciómetros usados como control de volumen (ubicados en la etapa de previo y equalización ya que funcionalmente van situados detrás de la amplificación), con lo que se asegura un tratamiento de la señal independiente.

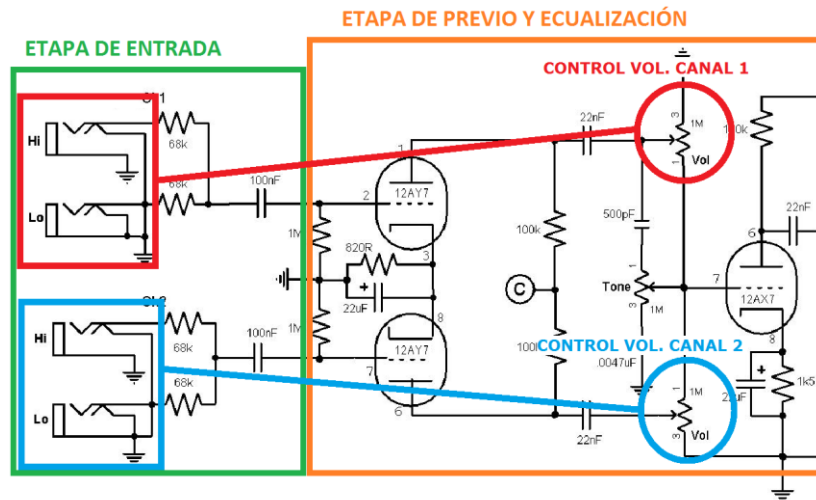


Ilustración 34. Potenciómetros de control de volumen Canal 1 y Canal 2 ubicados en etapa de previo.

Tras la entrada de la señal se ubican resistencias de 68k Ohmios seleccionadas tras leer abundante documentación sobre cómo lograr un sonido en comparativa a modelos existentes en el mercado. Para decantarnos por ese valor se realizó un procedimiento de prueba y error, comprobando que aporta un tono especialmente buscado en el diseño.

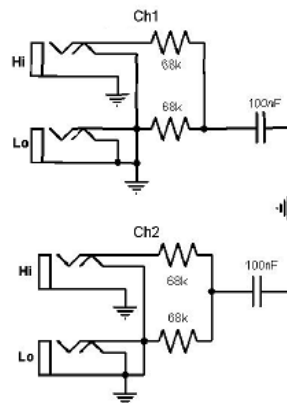


Ilustración 35. Etapa de entrada multicanal.

Posteriormente, y al final de la etapa de entrada, se han colocado pequeños condensadores cuya función es eliminar la señal de continua que pudiese portar la señal de entrada, ubicando la señal de entrada en los 0V. El valor de estos condensadores es de 100nf, valor suficiente como para eliminar el posible offset que contenga la señal.

5.3.3. ETAPA DE PREVIO Y ECUALIZACIÓN

La segunda etapa que cruza la señal es la denominada como etapa de previo y ecualización, nombre que adquiere al realizarse en esta un amplificado previo además de un ecualizado de tono y regulación de volumen.

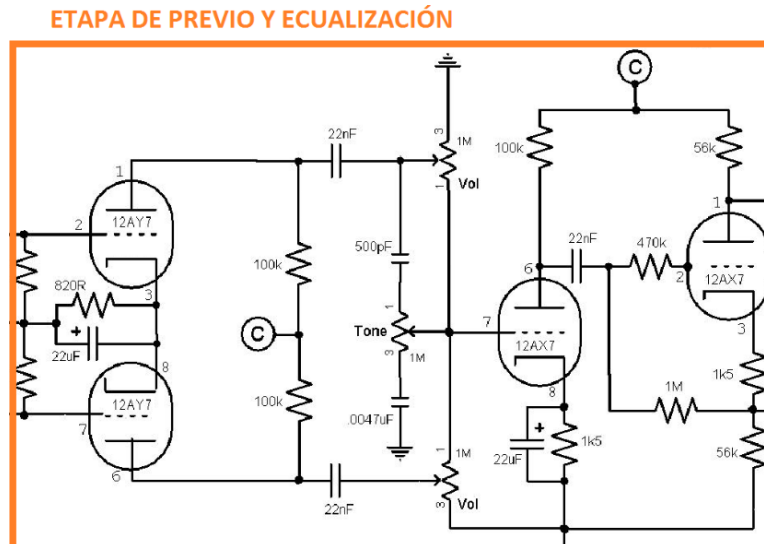


Ilustración 36. Etapa de previo y ecualización.

Una señal de entrada proveniente del instrumento y con un nivel de continua de 0V entrará en la primera válvula de previo (12AY7) para, una vez ser aumentada su ganancia, ser regulado su nivel de señal en el primer control.

Como se comentó en la primera etapa, el diseño cuenta con un sistema multicanal de tal forma que pueden entrar 2 señales de forma independientes, pensando inicialmente en conectar a la vez un micrófono de voz y un instrumento. Pero estos canales no son idénticos, sino que el primero de los canales cuenta con un control de tono que variará la respuesta en frecuencia de la señal antes de entrar en las otras válvulas.

Tras este potenciómetro existe un punto de unión entre los dos canales sin lógica, únicamente físico, para que a partir de ahí la señal recibida entre en la válvula de previo 12AX7 la cual aumentará la señal procedente del ambos potenciómetros de volumen antes de entrar en la siguiente válvula encargada de dividir la señal en positiva y negativa con la intención de mandarla en forma de señal positiva y negativa a la etapa de potencia al tratarse de un amplificador clase AB.

A continuación se desglosa de forma detallada la funcionalidad de cada uno de los componentes y se determina la aportación de cada uno de los componentes así como la relación entre ellos.



Ilustración 37. Válvulas 12AY7 y 12AX7 empleadas en el diseño. Fabricante: Electro-Harmonix.

VÁLVULAS DE PREVIO

Es en esta etapa de pre-amplificación en la que entran en acción los componentes clave del diseño presentados en este proyecto. Concretamente nos encontraremos con dos válvulas de previo, 12AY7 (la cual denominaremos como V1) y 12AX7 (a la que nos referiremos como V2) mostradas en la imagen anterior. Nos referiremos a ellas en función de la ubicación que tengan en el circuito.

Es importante remarcar que en una válvula (refiriéndonos al elemento comercial que se adquiere para la fabricación) vienen contenidos dos triodos físicos, es decir, si una válvula triodo requiere 3 pines efectivos para la conexión de cátodo, ánodo y rejilla, el elemento comercial al que llamamos válvula porta 6 pines; de forma adicional se incorporan 3 pines más para la alimentación de esta.

Es por ello que se definen una serie de pines en cada válvula, los cuales se presentan a continuación.

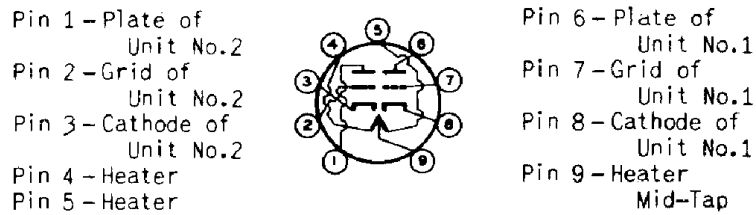


Ilustración 38. Diagrama de conexionado y esquema de pines de la válvula 12AY7.

Si ampliamos la imagen del esquema empleado en el diseño y fijamos como referencia la cercanía con los jack de entrada de la señal, en la primera posición nos encontramos la **válvula V1 12AY7**. Su uso es imprescindible en todo canal de entrada independientemente de que se trate de un amplificador multicanal o monocanal.

En este caso van configuradas en conexión de cátodo común, compartiendo el control de Bias.

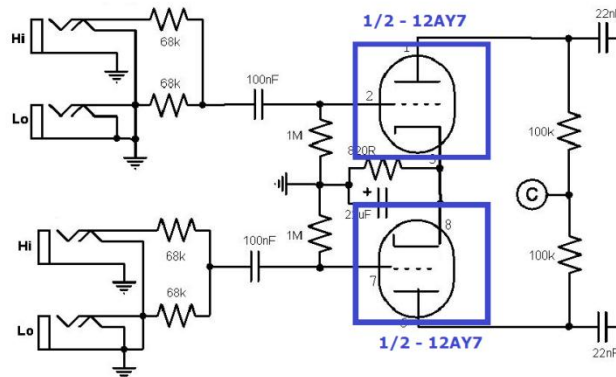


Ilustración 39. Ubicación de la válvula de previo V1 tras la etapa de entrada.

Como primera válvula que se encuentra la señal de entrada procedente del instrumento, su función será la de incrementar hasta 100 veces la señal que reciba a su entrada.

Se observa cómo, en paralelo al condensador de 100nf y al terminal de rejilla de la válvula, se ubica dos resistencias de 1MOhmio, cuya función es la de evitar lo que se conoce por “pops” y corrientes parásitas. Las encontraremos siempre ubicadas antes de la rejilla del tríodo ya que evitan oscilaciones parásitas producidas por largas longitudes de cables así como ruidos puntuales no deseados.

Básicamente consiste en lograr que la tensión que llega a la rejilla sea lo más estable posible para que la regulación de flujo de electrones dentro de la válvula sea constante en el tiempo, produciendo un sonido robusto y estable.

Por otra parte, el control de bias anteriormente mencionado está conformado por la asociación de condensador en paralelo con resistencia ($C=22\mu\text{F}$ y $R=820\text{R}$), el cual es común a ambas válvulas.

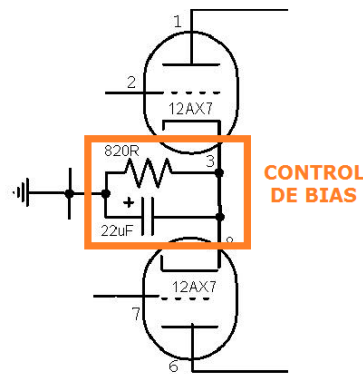


Ilustración 40. Control de Bias en la primera válvula de pre-amplificación.

El incremento de señal que aporta la válvula tiene la contrapartida de que amplificará no solo la señal procedente del instrumento, sino también cualquier ruido que pudiese existir en la señal.

En relación al ruido de entrada es importante tener en cuenta todos los elementos y factores que pueden contribuir a la generación de ruido contaminando la señal, tales como ruido procedente de aparatos de alimentación de los pedales, las pastillas de la propia guitarra o la calidad de los cables que se esté usando para el transporte de la señal audible desde el instrumento hasta el amplificador.

Para esta posición de inicio de la válvula en el circuito haremos distinción entre válvulas del tipo:

- “Hi-grade”: entre las cuales está la conocida 12AX7, que cumple con los estándares en un alto grado y presenta un nivel muy bajo de ruido.

- Baja ganancia: entre las cuales está nuestra elegida 12AY7, que incrementa el headroom (margen limpio) y fuerza a que la señal de entrada distorsione lo más tarde posible manteniendo así su carácter “limpio” sin aportar apenas distorsión.

No hay que olvidar que esta válvula será la mayor responsable sonora del amplificador, con lo que es importante la fase de verificación presentada al final del documento para cerciorarnos de que realmente se trata de un elemento que aporta el carácter y el sonido deseado a nuestro amplificador.

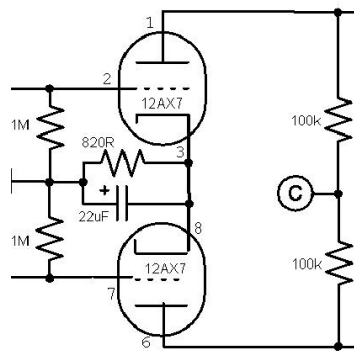


Ilustración 41. Válvula 12AY7 utilizada como válvula de baja ganancia.

Por último destacar la inclusión de las dos resistencias de 100KOhmios entre el punto C de alimentación y el ánodo de la válvula. Será la denominada “resistencia de ánodo” y el valor que se le asigne definirá gran parte del carácter de la válvula (modifica la pendiente de la recta de carga) con lo que cada fabricante elige un valor distinto y no existe recomendación.

De forma adicional, y basándonos en el análisis realizado sobre otros prototipos, debido a que se trata de un amplificador multicanal vamos a utilizar una segunda válvula de pre-amplificación, la **válvula V2**.

La inclusión de esta válvula en el diseño es con el objetivo de actuar como Tone Stack o “control de tono” ya que se trata de un filtro paso alta (condensador en serie con la resistencia variable).

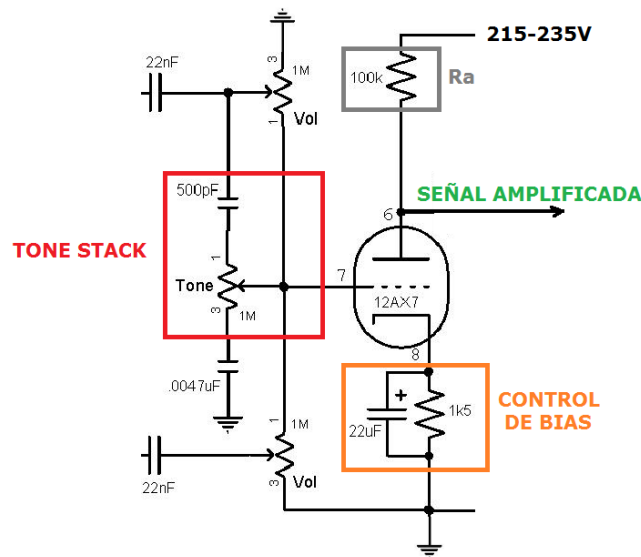


Ilustración 42. Configuración de Tone Stack para el control de tono con la válvula 12AX7.

De igual forma que en el caso anterior de V1, se instala un control de Bias en el cátodo del triodo, una resistencia de ánodo de 100K y de forma adicional los condensadores de 22nF, como en el caso explicativo de la etapa de entrada, para eliminar la posible señal de continua que pudiese portar la señal tras la inclusión de altas tensiones en la válvula.

Los controles de volumen también hacen de “grid stopper” y el principio de su funcionamiento como componente ecualizador es el de variar el pico que se genera en frecuencia para destacar unas frecuencias u otras y, moviendo ese pico realza frecuencias graves y agudas, atenuar o acentuar ciertas frecuencias a través de la corriente que deja fluir camino de la rejilla de la segunda válvula de previo 12AX7.

Además de todo esto, la segunda parte de la válvula 12AX7 utilizada para el control de tono tiene gran relevancia, ya no desde el punto sonoro, pero si técnico.

Es la denominada **inversora de fase** al tener como cometido dividir la señal de entrada en la válvula en señal positiva y señal negativa para mandarla en estas condiciones a la etapa de potencia en un diseño pull-push (AB). Tanta es la importancia de esta aportación técnica que jugará especial importancia en cuanto a términos de sensibilidad, respuesta y rango dinámico sobre la señal final.

Concretamente su configuración se denomina como “cathodyne” y se caracteriza por tener una ganancia muy cercana a la unidad, con lo que realmente no amplifica pero si aporta desde el punto de vista técnico de la inversión de fase que se comentaba anteriormente.

Su uso está muy ligado a la válvula de potencia y se recomienda siempre sustituirla cuando se reemplacen las válvulas de potencia.

Para este uso concreto, la válvula 12AX7 de Electro-Harmonix es una de las especialmente recomendadas según los expertos.

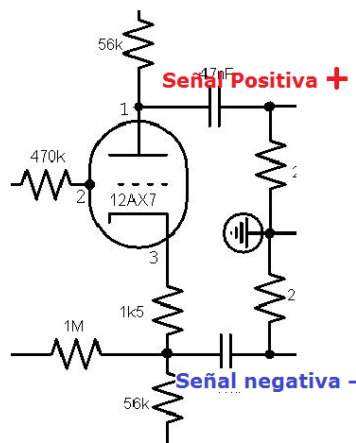


Ilustración 43. Válvula rectificadora 12AX7.

5.3.4. ETAPA DE POTENCIA

La etapa de potencia está caracterizada principalmente por las dos válvulas de potencia 6V6 que la conforman. Básicamente, el funcionamiento es similar a las válvulas de pre-amplificación, con la salvedad de que estas válvulas no serán triodos, sino pentodos.

El pentodo contiene cátodo, rejilla de control, rejilla de pantalla, rejilla supresora y ánodo, es decir, consta de 5 terminales como su propio nombre indica.

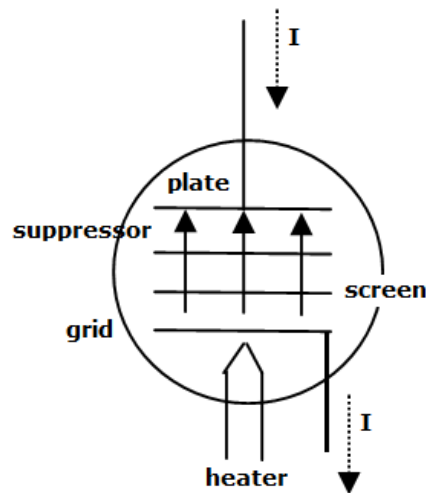


Ilustración 44. Diagrama de pentodo y dirección de los electrones.

Como se aprecia en la imagen anterior, debido a su cercanía el cátodo es calentado por el filamento que se encontrará a alta temperatura, aportando movilidad a los electrones situados en la superficie de este permitiendo así la liberación de energía dentro de la válvula.

Por otra parte, la placa o ánodo se encuentra a muy alta temperatura debido a los altos voltajes que a él llegan (de entre 350 y 370V) causando la absorción de los electrones liberados. Esto genera como resultado una corriente con sentido inverso al flujo de electrones, representada con la flecha discontinua.

Por otra parte, la rejilla de control (grid), rejilla de pantalla (screen) y rejilla supresora (supressor) no son más que 3 hilos colocados correctamente espaciados entre el ánodo y el cátodo a los cuales se les aplica voltaje para regular el flujo de electrones entre ánodo y cátodo.

La rejilla de pantalla suele registrar valores positivos para proporcionar una continua fuente de atracción a los electrones pero el valor final de este voltaje depende en gran parte de la rejilla de pantalla. Además el valor de tensión que adquiere será de menor tensión que el cátodo tendiendo a repeler los electrones y cuando la válvula entra en saturación no permite la corriente a estar a potencial negativo.

Un pequeño cambio de voltaje en la rejilla de control propiciará un cambio en la corriente de ánodo y será esta una de las principales características que se usará para amplificar señales.

La rejilla supresora tendrá como principal función la de ayudar a mitigar el problema de emisión secundaria que se crea debido al impacto de los electrones en la placa a altas velocidades alcanzadas en el espacio que se genera en la válvula, reduciendo sustancialmente el flujo de electrones secundarios que se genera entre la placa y la rejilla de control.

La rejilla de pantalla será la que regule también, en cierta medida, el tránsito de electrones entre cátodo y ánodo en función de la tensión que reciba del resto del circuito a través del terminal de rejilla al que le precede una resistencia de 4700hmios y donde llega alta tensión (unos 300V).

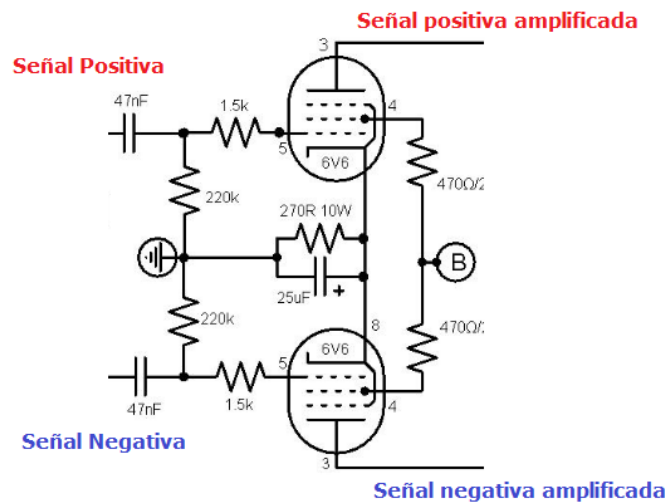


Ilustración 45. Etapa de potencia extraída del esquema de Tweed Deluxe.

El resto de componentes que componen la etapa de potencia serán “grid stoppers”, es decir, resistencias (1,5KOhmios en este caso) que eviten oscilaciones parásitas que van a las rejillas; resistencias para eliminar el ruido externo (4700hmios) y el bias fijo de la válvula conformado por la asociación entre resistencia y condensador (25uF + 270R en paralelo).

5.3.5. ETAPA DE SALIDA

Se trata de la última etapa, la cual está al final de la cadena de sonido y cuya principal función es la de realizar la transformación de señal eléctrica en señal acústica, es decir, se realizará la transducción de impulso eléctrico a impulso mecánico.

Concretamente su función es excitar la membrana del altavoz a través de la señal eléctrica que llega a esa etapa.

Para ello se basa en un transformador de salida (concretamente el Hammond 1750W de 15W) que suministra la potencia necesaria para abarcar todo el rango de frecuencias y adaptarlas a la potencia de salida que se desea a la salida del amplificador.



Ilustración 46. Imagen comercial del transformador de salida Hammond 1750W de 15W.

Si profundizamos en la parte del esquema que corresponde a la etapa de salida, la señal llegará al transformador de salida dividida en positiva y negativa y será en el transformador donde se unifique de nuevo para ser proyectada por el altavoz.

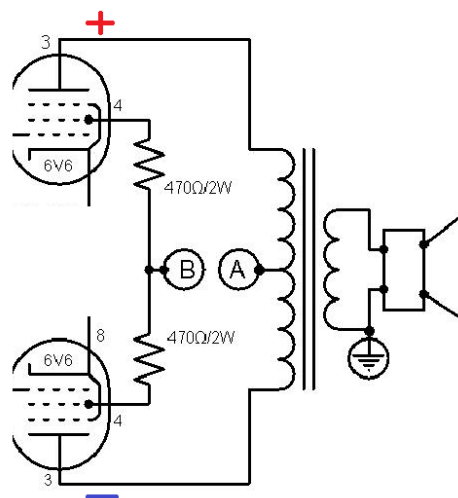


Ilustración 47. Esquema de la etapa de salida.

CONO DE AMPLIFICACIÓN

Este amplificador se ha conectado a una pantalla con dos altavoces “Celestion V30” de 12 pulgadas de tamaño, uno de los altavoces para guitarra más populares. Éste emplea un fuerte imán cerámico denominado imán "H", el más cercano en rendimiento al de Alnico, cuya potencia solo se ve superada por imanes de tierras raras como el imán de neodimio y el imán de samario-cobalto.

Se caracteriza por entregar tonos enormemente detallados ya que posee una sensibilidad de 100dB y un rango de frecuencias de trabajo de 70 Hz a 5000 Hz. Su impedancia nominal es de 16 Ohm u 8 Ohm (seleccionable) y cada uno de estos conos tienen una potencia de 60W.

Todo esto hace de este altavoz un elemento ideal para nuestro estudio.

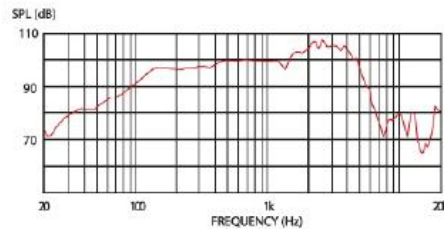


Ilustración 48. Vista general y respuesta en frecuencia del modelo “Celestion V30”.

6. MODIFICATIONS

Once it has received the final prototype and have been tested all its features include the ability to provide technical improvements and / or sound value model is studied.

For this, we perform a "brainstorming" which the application of various modifications to the circuit is proposed. The relationship of ideas initially presented is collected:

- Add reverb module to one of the channels through a digital module or a spring reverb tank. This would be a considerable improvement in terms of new functionality, since the inclusion of a reverb module is highly valued by customers. So much so that this is a feature that has been incorporated in later models Fender.
- Apply negative feedback connecting the signal that is delivered to the speaker (the negative side) to an earlier stage of the circuit. Furthermore, the option of incorporating a potentiometer between the negative signal and the feedback point to have greater control over the signal arises.
- Using an EF86 (pentode) as previous, instead of 2 as the first triode valve. First time implies a global change in the design of the pre-amplification.
- Make the value of switchable capacitors that eliminate the ripple rectifier tube in order that the amplifier vary their behavior in low notes, which make the circuit that requires higher current.
- Switchable Channels and inserting the same input on both channels as technical input to concrete situations demand; a use case would be the connection of two different types of the same guitar amp simultaneously and choosing one of them through the switch (Jump Switch).
- Add a master control output to reduce noise without lowering the voltage reaching the preamp. We would benefit from sound produced by the distortion in the valves without skimping on overall volume control.
- Switch terminals valves to move from state power "Pentode" a "triode" through a switch. We would achieve significantly reduce the power of final output.

Later, after a detailed technical requirements and feasibility analysis cost-difficulty-time, it has chosen to try to carry out three of the proposals listed above. It is important to say that many of these modifications that they are easily achievable but in some cases have been ruled out

by not associated substantial improvement; and that many proposals relating to the type amplifiers "Tweed Deluxe" although most of them do not increase or technical quality sound.

Then the three improvements are determined as viable after "brainstorming" and to be implemented in the prototype are described.

6.1. CONTROL DE NIVEL DE MÁSTER PPIMV

Esta aportación consiste en un control de nivel máster, el cual se puede ubicar antes o después de la válvula inversora de ahí sus siglas: "Post/Pre Phase Inverter Máster Volume" (PPIMV).

Se trata de una modificación con grandísima aportación desde el punto de vista técnico y de manejabilidad al amplificador y su instalación es muy sencilla, de ahí el interés en incorporarla.

Consiste en la sustitución de la resistencia de rejilla, que controla el nivel de voltaje que se entrega a la rejilla de la válvula inversora de fase, por una resistencia variable que nos permita ajustar este nivel de tensión de forma manual.

Como se indica en la definición de las siglas de este control máster, la ubicación de éste puede ser antes de la válvula inversora ó después de esta ya que la ganancia que aporta es de , prácticamente, la unidad y el nivel de señal no se ve afectado; sin embargo en nuestro caso lo ubicaremos antes de la válvula ("pre-phase inverter") ya que nos permitirá controlar la cantidad global de señal que accede a la válvula, lo cual es muy recomendable si se van a usar pedales de efectos que puedan elevar la señal de entrada tales como distorsiones o tipo "boost", los cuales pueden influir sobre el nivel de señal más de lo deseado llegando a hacer ésta incontrolable.

Por otra parte, el hecho de colocar el control PPIMV detrás de la inversora de fase únicamente contribuirá a mantener el sonido puro de la etapa, es decir, es más eficaz para el control de volumen (a nivel de amperios que salen de la válvula inversora hacia la rejilla de las válvulas de potencia) pero no aporta nada más a nuestro amplificador.

De cualquier forma, el simple hecho de incorporar este control tiene la increíble ventaja de poder mantener las condiciones de saturación en las válvulas de pre-amplificación, permitiendo la contribución frecuencial y de brillantez de las válvulas, a la vez que nos aporta

un gran control sobre esa señal saturada para ofrecer una salida a medida, hablando en términos de potencia. Las válvulas funcionarán a pleno rendimiento sin la necesidad de manejar volúmenes insostenibles en un pequeño local o en un ensayo doméstico.

Técnicamente, la incorporación de este control adicional supone el reemplazo dos resistencias fijas, de 470KOhmios y 1M0hmio, por una resistencia variable de 1M0hmio.

A continuación se presenta la comparativa entre el esquema inicial y la modificación realizada.

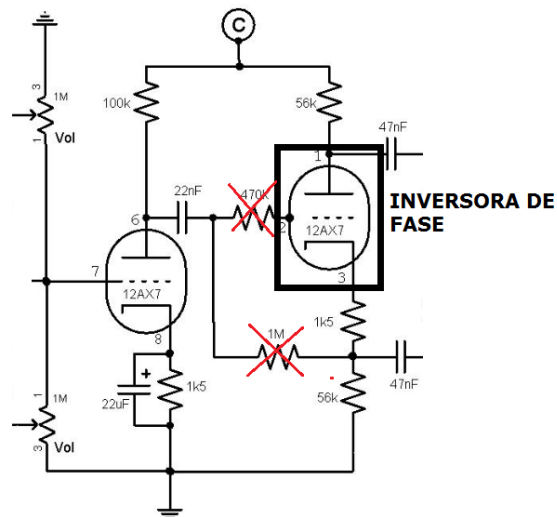


Ilustración 49. Configuración inicial de la etapa de previo. Inversora de fase sin control PPIMV.

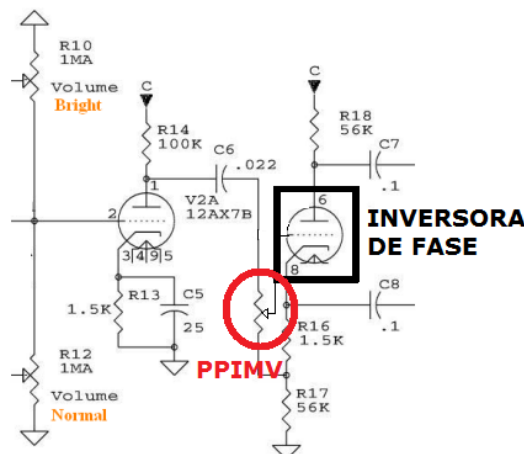


Ilustración 50. Modificación realizada en la etapa de previo. Inversora de fase con control PPIMV.



Ilustración 51. Vista de la instalación del control de Máster sobre el chasis (izquierda de la imagen).

6.2. RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA

La finalidad de esta modificación es la de eliminar los sonidos “parásitos” que se hayan podido introducir en la señal pura del instrumento a raíz de cables o fuentes de alimentación de baja calidad.

El principio de funcionamiento es muy sencillo. Consiste en obtener la señal de salida resultante, es decir, la que sale directamente hacia los altavoces, para introducirla en algún punto del circuito con el objetivo de restársela a la señal de entrada.

De esta forma cualquier tipo de anomalía que saliese camino del altavoz para ser amplificada sería restada a la señal de entrada (la cual contiene esa misma anomalía) logrando un filtrado muy apreciable para el oído.

El punto en el que se introduzca ese feedback será determinado de forma experimental ya que todo elemento situado en el circuito contribuye a la señal.

En nuestro caso de estudio optaríamos por introducir el feedback justo detrás de la segunda válvula de previo (en el cátodo de esta) y justo antes de la resistencia de rejilla de la inversora de fase ya que los definimos como punto más que interesante al preverse un control importante sobre la etapa de pre-amplificación.

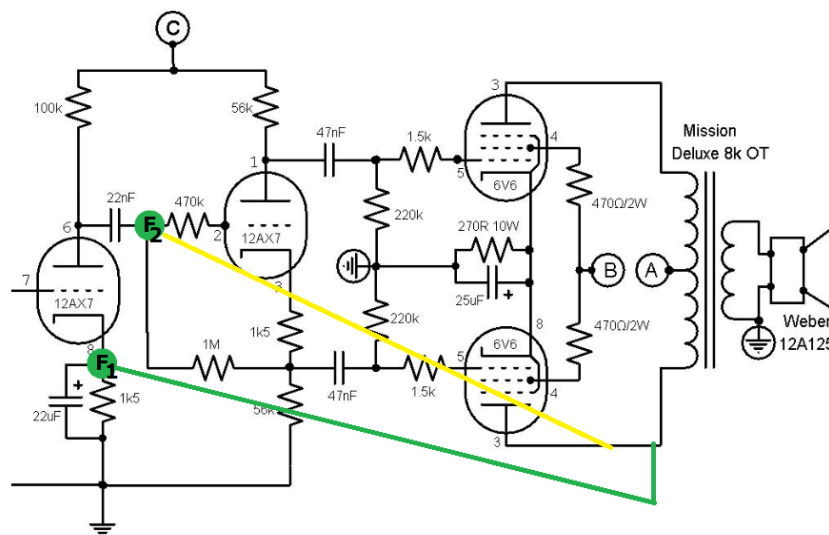


Ilustración 52. Puntos de feedback negativo propuestos.

6.3. CONMUTACIÓN PENTODO/TRIODO

Esta modificación se trata de la instalación de un conmutador estándar que permita la transformación de las válvulas de potencia de pentodo (configuración implantada por defecto) compuesta por 5 terminales: cátodo, rejilla de control, placa, rejilla de pantalla y ánodo, por un tetrodo y sus 4 electrodos en la que la rejilla de pantalla es anulada al conmutar (tetrodo).

A pesar de tratarse de un cambio entre pentodo y tetrodo, por convención lo llamaremos interruptor pentodo/triodo. Esto es debido a que, normalmente, un triodo libera electrones del cátodo que fluyen hasta el ánodo con la regulación de la rejilla y el funcionamiento es similar: a menor tensión en la rejilla de control menor será el flujo de electrones.

El interruptor que permita la conmutación será del tipo 2PDT y constará de 6 pines, los cuales harán posible la conmutación simultánea de ambas válvulas.



Ilustración 53. Switch DPDT utilizado para la conmutación y estados que puede tomar.

La finalidad de esta conmutación será llevar la alta tensión (de aproximadamente 300V) que llega al punto B desde el terminal de pantalla hasta el ánodo.

Con esto se consigue reducir a la mitad la potencia de salida ya que, al conmutar al modo triodo, se va a recibir menor tensión en los terminales de rejilla y la excitación de los electrones será menor, produciéndose menos corriente.

A continuación se presenta cómo quedaría el esquema de conmutación del circuito.

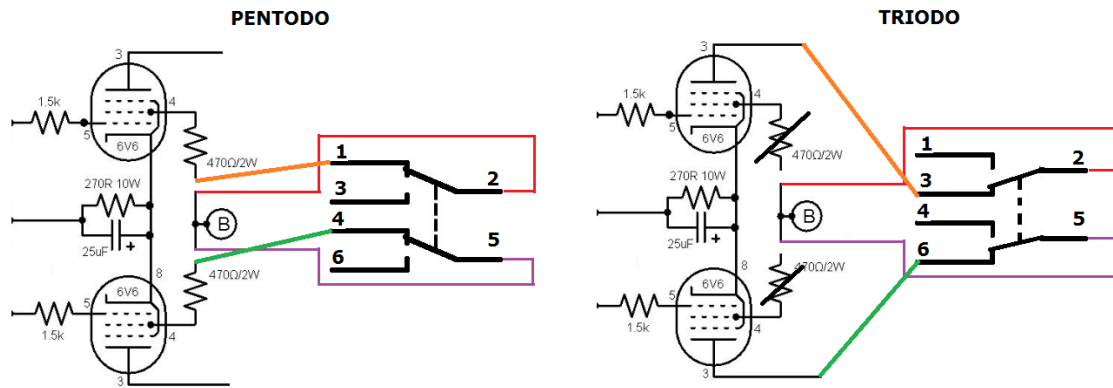


Ilustración 54. Conmutación interna del Switch DPDT de Pentodo – Triodo.

De forma sonora también existe un cambio al lograrse sonidos más ricos en armónicos y ligeramente distorsionados (sonido puro valvular) cuando pasemos a operar en el modo “pentodo”, pero permitiéndonos siempre disfrutar del sonido sin renunciar a ensayar con volúmenes adecuados para cada entorno.

Las dos resistencias de 470 Ohmios se mantienen en el diseño para mantener el voltaje de rejilla ligeramente inferior al voltaje de pantalla.

Sin duda se trata de una incorporación significativa e interesante desde el punto de vista técnico.

7. PROTOTYPE CONSTRUCTION

7.1. COMPONENTES EMPLEADOS

Para la realización correcta del prototipo es muy importante elaborar un listado detallado de todos los componentes implicados en la construcción con el fin de facilitar las labores de construcción y evitar pérdidas de tiempo (y con ello coste) con detenciones imprevistas por fallos de abastecimiento. Hemos de recordar que se trata de la elaboración de un elemento muy complejo y todas las facilidades son pocas para garantizar la correcta finalización de este.

Concretamente se requerirán los componentes electrónicos pasivos detallados para la construcción de la placa y además los siguientes elementos externos:

1. Protege cable ante orificios cortantes.
2. Fijadores de válvulas
3. Zócalos cerámicos
4. Conectores jack
5. Zócalos cerámicos para las válvulas de pre-amplificación
6. Switch SPDT de encendido
7. Fusible protector
8. Led de encendido
9. Potenciómetros
10. Knobs embellecedores para potenciómetros.
11. Tornillos y tuercas para fijación de la placa al chasis así como zócalos y demás hardware.



Ilustración 55. Resumen de componentes empleados.

A continuación se detalla el funcionamiento y se determina el por qué de la elección de estos componentes como los más relevantes utilizados en la construcción del prototipo.

INTERRUPTOR DE STANDBY

Su función es evitar que las tensiones de placa lleguen a las válvulas antes de que los filamentos estén lo suficientemente calientes para que los cátodos emitan electrones. Hay gente que discute su utilidad real en amplificadores que tienen tensiones relativamente bajas en las placas y que cuentan con válvula rectificadora, pero en el caso que nos ocupa se propone incluir esta mejora ya que es un estándar en el mercado y el modelo original “Tweed Deluxe” no llevaba interruptor de “stand by”.



Ilustración 56. Vista del interruptor de “stand by”.

FUSIBLE

Como en cualquier otra aplicación de electrónica/electricidad, se trata de un elemento protector que aporta seguridad al circuito siendo su función la de evitar que circule más corriente de la permitida a la entrada. En caso de que esto ocurra seguramente dañemos algún componente con lo que es muy importante la elección del valor de este elemento.

La potencia máxima que debe soportar el fusible (y por tanto el circuito) ha de ser de unos 240W y la corriente deberá ser calculada para una tensión de red de 230V. Aplicación la expresión que relaciona potencia con tensión y corriente se obtiene que:

$$P(W) = I(A) * V(v);$$

$$240 = I * 230;$$

$$I = \frac{240}{230} = 1,043A \approx 1A$$

De igual forma si la tensión de entrada suministrada por la red eléctrica fuese de 120V, como es el caso del sistema eléctrico americano, aplicaríamos el nuevo valor a la expresión y obtendríamos un valor máximo de corriente de unos 2A.

ZÓCALOS DE LAS VÁLVULAS DE PREVIO.

Las 12AX7/12AY7 son triodos dobles, es decir, hay dos "válvulas" independientes en cada válvula. Los pines se numeran del 1 al 9, en el sentido de las agujas del reloj contados a partir del hueco mayor entre pines. La función de cada uno de los pines se presenta a continuación:

- 1 y 6 son las placas, aquí es de donde normalmente sale la señal amplificada y donde podremos encontrar tensiones altas del orden de 120V para la 12AY7.
- 2 y 7 son las rejillas, donde se aplica la señal que vamos a amplificar. Tendrá un valor de 0V en reposo.
- 3 y 8 son los cátodos. Lo más común es que haya unos pocos voltios, del orden de 1-4V y suelen estar normalmente conectados a la resistencia de polarización (bias) en paralelo con un condensador electrolítico.
- 4, 5 y 9 son ánodos, por donde se introduce la alimentación a la válvula.

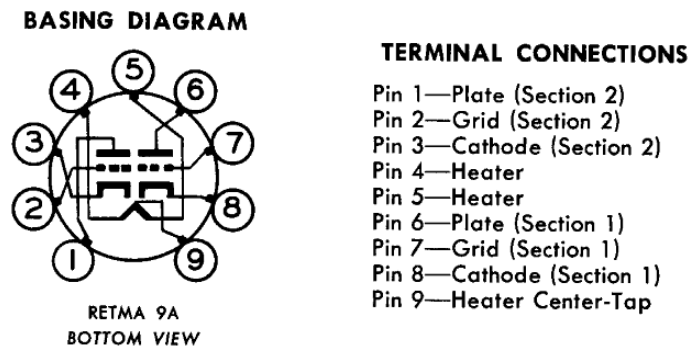


Ilustración 57. Esquema de pines obtenido a partir del datasheet de la válvula 12AY7.

POTENCIÓMETROS

Se tratan de dos resistencias en serie cuya conexión central se tiene cableada de tal forma que podemos configurar, mediante su rotación, cuál es el valor que adopta dicha resistencia haciendo un balance entre una y otra.

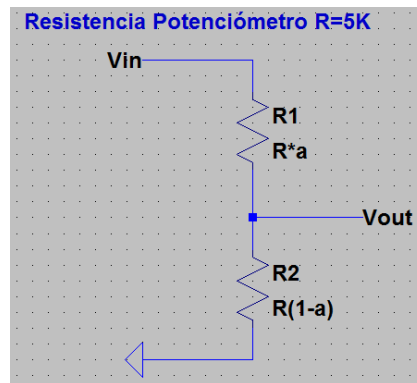


Ilustración 58. Esquema interno de una resistencia variable.

En nuestro caso usaremos potenciómetros rotatorios ya que nos permitirán variar el valor de la resistencia girando su eje, ocupan poco espacio y su duración es larga.

Dentro de los potenciómetros, en general, se pueden clasificar en función de la relación entre las resistencias y el ángulo de giro en: lineales, logarítmicos y anti-logarítmicos.

A continuación se muestra una gráfica con la variación del porcentaje de resistencia en función del porcentaje de giro que apliquemos en la resistencia variable.

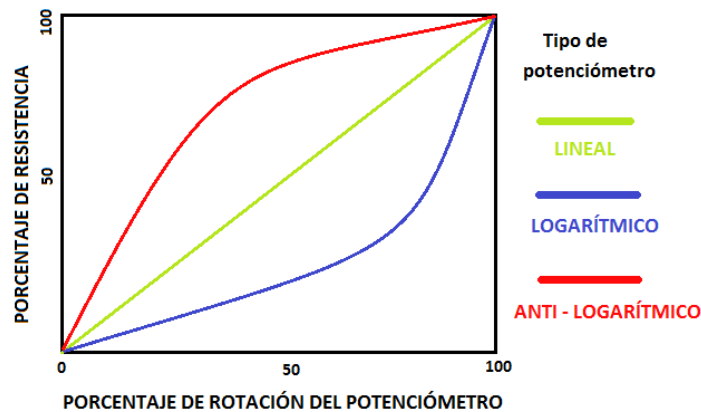


Ilustración 59. Relación de trabajo de potenciómetros en función del tipo.

7.2. CONSTRUCTIONS STEPS

At this point, once designed and tested each of the amplifier stages, different phase employed are shown in the physical manufacturing.

It will be painstaking work to be carried out very carefully as they are very high chances of making a mistake and as you progress with building the prototype will be more difficult to detect an error.

And we must always be careful that the operating voltages of amplifying can be very high and therefore we should not skimp on resources and time to ensure each of the landmarks we complete to avoid taking unnecessary risks when we will go to switch on the amp.

To fix these errors and verify that all steps used in the construction are correct we will schedule several checkpoints: once the assembly of the plate, wiring and transformer installation.

Here you can see the different stages that has been carried out the construction.

7.2.1. ASSEMBLY BOARD

After we have selected the components for our design, we proceed to the assembly of the components on the plate for further heat bonding techniques using tin soldier.

To do this we will clean the surface of the pins with "Flux" and will be sure that the soldering tip is completely clean (otherwise rub against specific sponge to clean in hot mode).

We post the components in the spaces provided after verifying these values with a multimeter and a certain order.

According to the sensitivity of the components and their heat resistance we define an order; first install those better withstand high temperatures and which several times receive heat (such as resistance) and then the most fragile (as electrolytic capacitors, for example).

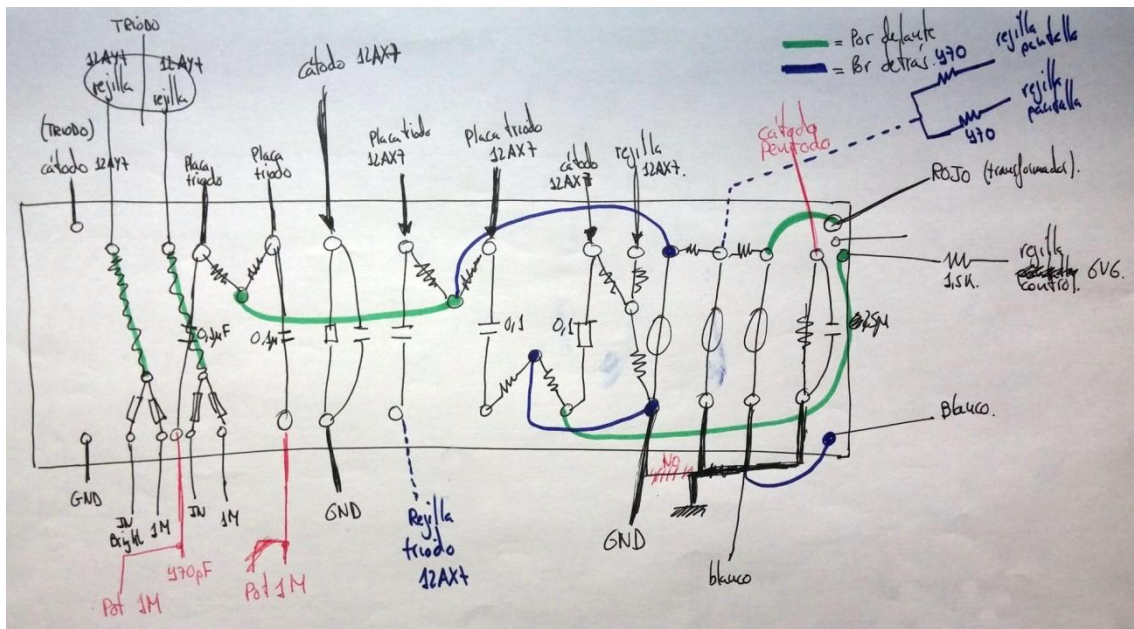


Ilustración 60. Draft copy of construction board schema.

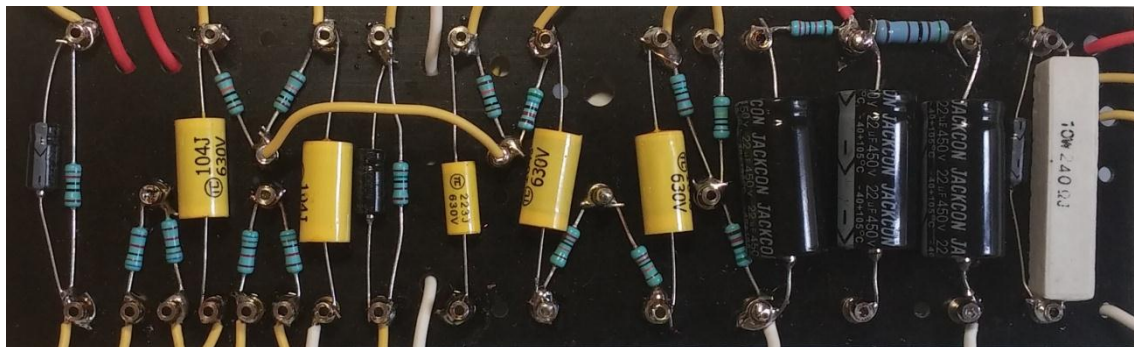


Ilustración 61. Full view of the plate built by turret.

Related to the assembly technique, the technique used is known as "tower mode" due to the type of plate used for the location of the components.

As shown in the previous image, it involves placing a metal stops in each of the die orifices on the plate; which they are located according to a previous study of the circuit on paper.

From this study it conducted a viable physical design in the minimum possible to comply with market standards and minimize the economic cost in material and human resources to carry out its building space.

In our case, the analysis of the electronic scheme for the plate has not been necessary, but we started the original design created over 30 years ago and then Apply improvements presented.

7.2.2. WIRING

The placement of the wires which will be joined switches and potentiometers are made after applying tin the ends thereof. This will consist of applying heat to the copper inside the cable, bring the tin to impregnate the wire and make it easier.

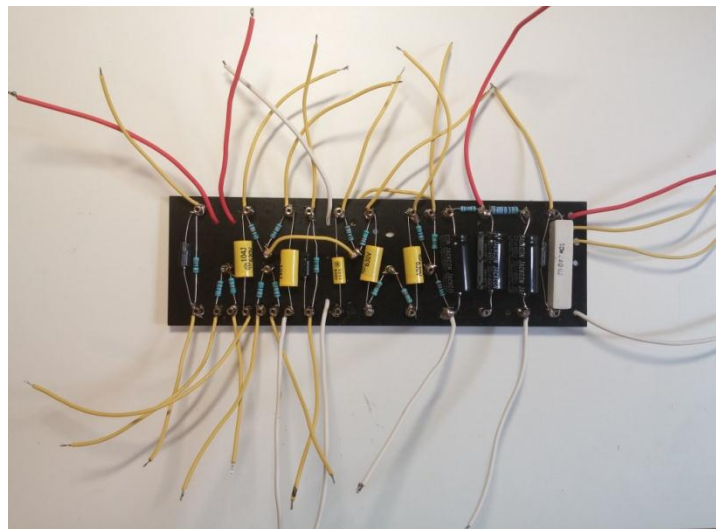


Ilustración 62. Top view of wiring installed on the board.

Using short length wires with will seek to avoid crosstalk and interference phenomena caused by the inclusion of false signal in the audio circuit.

Some manufacturers recommend using shielded cable amplifiers in order to minimize this, but after making the prototype unshielded wire diameter 0.5mm, replacement of cable type is not considered necessary in addition to an increase in the manufacturing cost.

In some cases (especially in sections where the voltage in the wires is very high, as you can see in connection with the different pins of the valves) is recommended to twist the wires traveling next, avoid angles of 90 degrees with the chassis as little as possible and break the plastic cover in order to isolate the maximum signal.

Here different views of the wiring located on the circuit are presented.

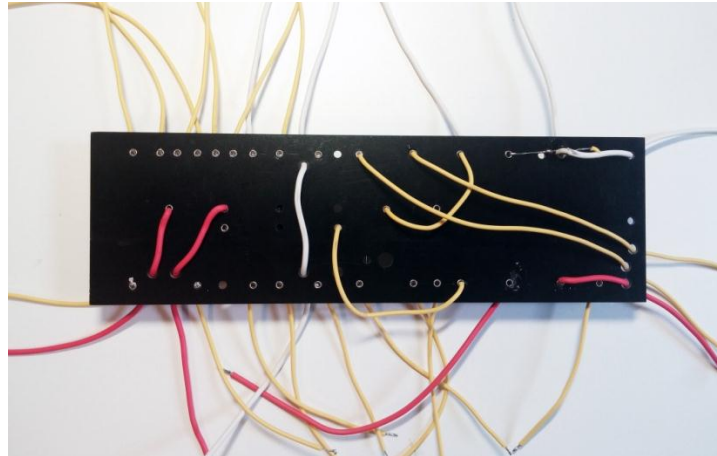


Ilustración 63. Bottom view of wiring installed on the plate.

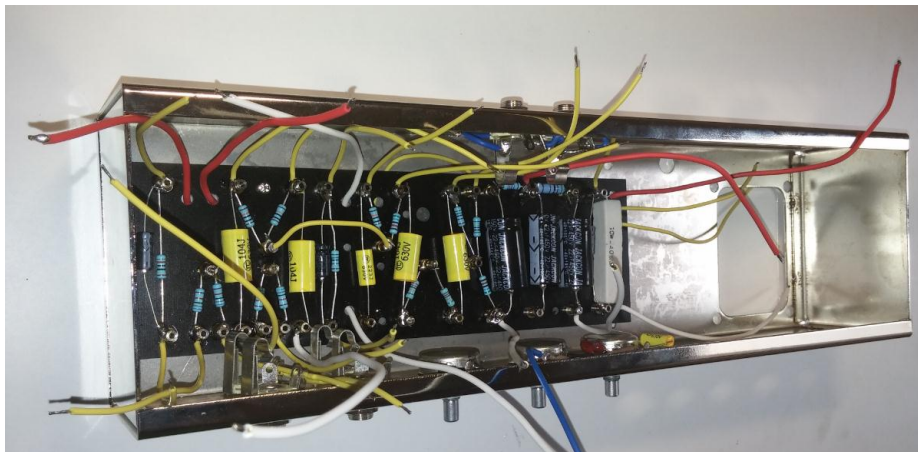


Ilustración 64. Prototype view after implantation of the wiring board.



Ilustración 65. Interconnection of all circuit elements. Twisted wiring.

7.2.3. PLACEMENT OF TRANSFORMERS

A critical part of the assembly is the installation of power and output transformers.

On a transformer we find different terminals: primary, secondary and ground. Their correct identification is essential to avoid damaging circuit components in the first power and the transformer too.



Ilustración 66. View of transformer.

A bad connection or interconnection elements error could cause the destruction of some components and irreparable damage to the circuitry or the coach himself responsible for the construction, without their influence to end economic cost of the prototype.

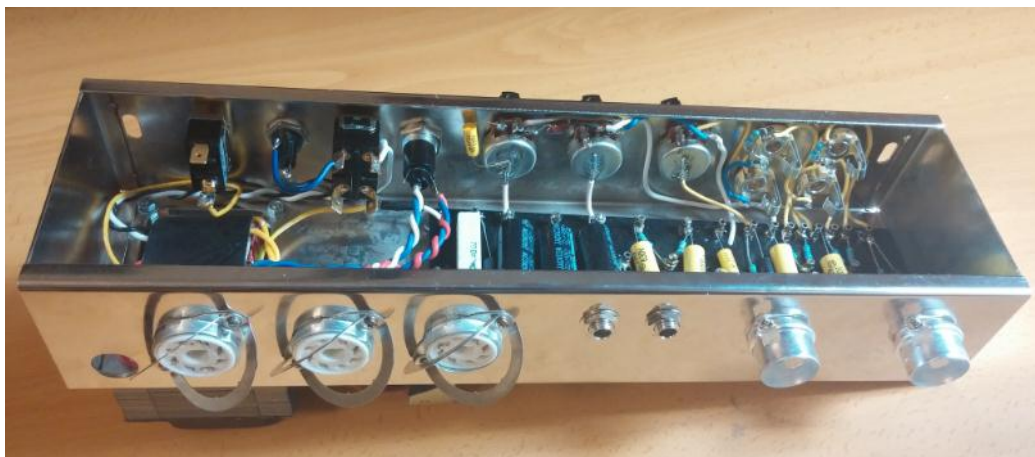


Ilustración 67. Prototype view after placement of sockets.

7.2.4. TUBES ASSEMBLY

To install the valves in the circuit we will use sockets to facilitate installation on it and the replacement when the deterioration forced to do it.

These sockets must be appropriate to the type of valve (power or previous) as well as being prepared to high temperatures reached them during the time of use.

For this ceramic materials are often used, which have conditions optimal heat resistance. These sockets are screwed to the chassis.

Furthermore, prior to the valves will use a protective cover will also function like heat sink element.



Ilustración 68. Valve tube side view.



Ilustración 69. Protector valve (above) and ceramic sockets (below) used in the installation of valves pre-amplification in the chassis.

7.2.5. CASE CONSTRUCTION

For the correct location of all belonging to the amplifier circuitry and peripheral (controls, valves sockets, transformers ...) will be necessary a minimum measures endowed with sufficient strength and as chassis will be needed to house all these components .

The main element that will determine the material to build will be the box and power transformers because, due to their bulk and weight, require minimal structure resistant to our prototype to use.

Specifically we opted for a design 3mm aluminum sheet, which has been molded with a folding aluminum. Later different holes have been made maintaining a logical distribution which are installed in the rear valve preamp and power as well as the necessary output jack for connecting speakers. In addition an additional hole could be installed to select the operating mode of the power tubes.

Finally we do screen printing for each control Implanted above the chassis. .



Ilustración 70. Back view of the chassis used in the construction of the prototype.



Ilustración 71. Global view with valves mounted on the chassis.



Ilustración 72. Overview of the amplifier on the speakers.

7.2.6. RECOMMENDATIONS AND BEST PRACTICES

We must perform double checks in each of the phases and take breaks every so often to avoid making mistakes caused by fatigue. Specifically, it is recommended to stop to check when:

1. After creating the relationship between components required.
2. After verification of components and fix the board.
3. After installing the initial wiring coming out of the plate.
4. Before switch on the amplifier.
5. Before connecting the speaker and the instrument.

8. TEST CONFIGURATION AND TESTING PROPOSALS

Once construction is complete we will pass the testing of all elements and functions of the amplifier to verify that both components are working properly and that the interconnection between the different elements is appropriate.

A series of quick checks that help you keep on with guarantees are proposed.

A simple way of checking in one step the feeding step (network cable, power transformer, fuse ...) is measured with the multimeter continuity between the two terminals of the plug that connects the device to the mains.

Amplifier with switch ON must be continued, not off. In this way we make sure that the on-off switch is correct.

Another important item to check is the good location of the grounding. In this project we have followed the method of Hoffman masses, so that there should be a single ground connected to the chassis and it will be connected in a certain order the grounding of the different elements. Suffice it to go unifying the lands of each group of items with similar voltage and then bring them together to a common point as shown in the following example image.

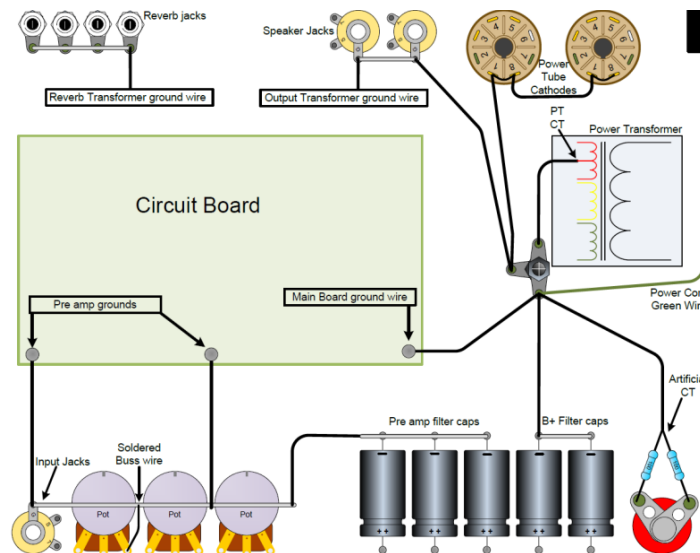


Ilustración 73. Example ground connection method according to Hoffman masses.

It is also recommended to check the correct connection of the input jacks from the resistances that are associated. We only have to plug a guitar cable into jacks, and at the other end measure resistance between two sections of the jack (tip and ground). For inputs 1 it should measure 1M Ω .

Another recommended measure before switch on the amp, which in this case helped detect an error interconnection, is to review the whole continuity detector layout in an organized way. It helps a lot in this process crossing off the tested connections on the circuit diagram as multiple additional cables are used to connect different parts of the plate and is easy to make a mistake.

CONFIGURATIONS PROPOSALS

After turning on the amplifier, the next step will be testing certain configurations logically planned to verify that each controls that have been installed run properly and to observe the relationship between them if they exist.

For that, several configurations are proposed.

VOLUME CONTROL CHANNEL TESTING.

This control will have direct influence on the current flowing through the preamp from each channel. The effect on the resulting signal is to raise the gain and the final volume of the signal, but also has the frequency influence in final signal.

As you increase the current in the valve this will become warmer and more and vary the frequency response. Generally interested valve works more than half of its operating range to take advantage of frequency contribution that gives us such a component amplifier so the most important thing we can do is try, helping Master Control (put it at the minimum) to avoid hearing damage, go raising the value of the potentiometer.

It is also seen as there is a clear influence of channel 2 on channel 1, and vice versa, when it comes to change its volume level. This is logical because mixing occurs in the junction of the two channels before entering the signal to the first valve preamp.

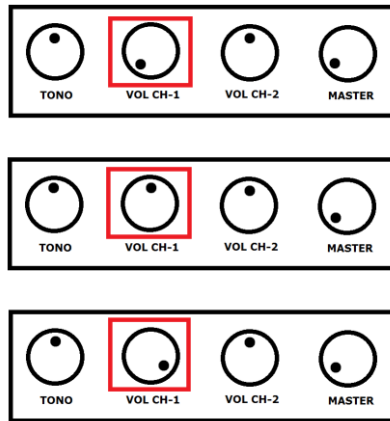


Ilustración 74. Change in volume control to frequency Check.

Noted how tone control will maintain a constant value to their input does not influence the perception.

We repeat the test channel 2 and the same sound effect is seen.

..... TONE CONTROL TESTING

The tone control quantitatively supposes a marked shift in frequency in the audible range of the frequency spectrum. Thus as we increase the value of the potentiometer would be shifting the peak frequency from low to high frequencies.

Keep the volume control of each channel to avoid that stable input frequency and vary the tone control.

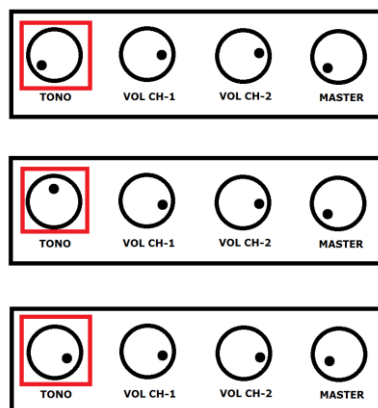


Ilustración 75. Variation of tone control recommended for testing.

We can see a large variation as we increase point to point the value of tune with what could classify the graphic EQ as a control element of high functional quality and the result have been completed success.

TESTING MASTER CONTROL

It will be the most interesting test from the technical point of view as it is a control that does not initially exist in the design. As discussed in the section on modifications, it is only a total volumen control to regulates the gain at the output of the preamp to gives us tremendous control the volume of final output without skimping on volume channel.

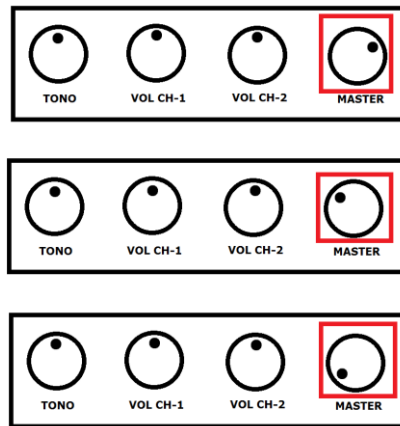


Ilustración 76. Proposal to control Master configuration test.

It is not recommended that its value reaches the maximum as the output gain is so high that can cause hearing damage and even vibrations in the speaker, if prolonging use, can damage the amplification system.

Undoubtedly this is a very grateful control the interpreter as possible use it in a domestic environment not prepared for high volume without sacrificing tube sound that we only achieved with high-volume channel.

PANEL CONTROL

In the original model built in the 70s, the Fender Tweed Deluxe destined 2 of its 4 inputs to the input of a microphone, which would explain the high redundancy of input channels.

In our case we have no intention to use one of its inputs like microphone because, among other things, connecting through a microphone cable jack-jack is little used at present and there are numerous stages prior infinitely Microphone better than he could have the Fender Tweed Deluxe in its original design.

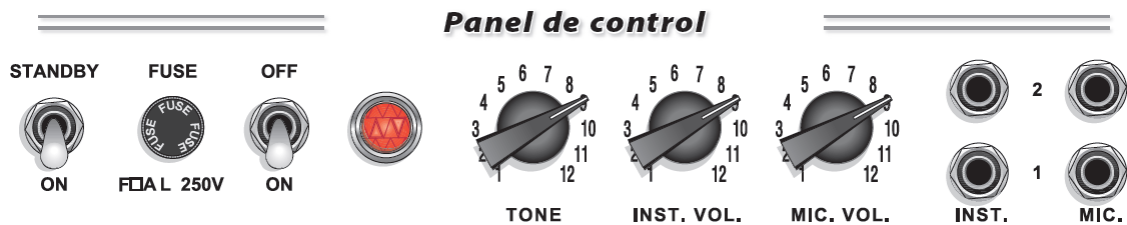


Ilustración 77. Original panel control for tweed Fender Deluxe.

In addition, thanks to this view original control panel of the amplifier, we can explain the logic mixture is produced from the signal entering the channel 1 and channel 2 before entering the first valve preamp. As we say, the reason is that the circuit was originally designed to work simultaneously with a microphone and a (guitar / bass) instrument making him a far less interesting and versatile product.

9. COSTS COMPARISON

To do possible the realization of the prototype it was necessary the investing of enough money to purchase the different components and the chassis. Once the relevant market study was done we chose to purchase the equipment by Internet from a domestic supplier who offered special price for the acquisition of all components in their "ciberstore".

The relationship of costs and the amount of the components is presented:

		Precio/unidad (€)	Unidades	Importe (€)
Transformadores	Transformador de alimentación custom Curiel Amps	98.20	1	98.20
	Transformador de salida "Hammond Guitar Series 1750H"	36.90	1	36.90
Válvulas	Válvulas de potencia 6V6 GT	15.90	2	31.80
	Válvula de previo 12AX7 Electro Harmonix	11.80	1	11.80
	Válvula de previo 12AY7 Electro Harmonix	11.80	1	11.80
	Válvula rectificadora JJ	10.60	1	10.60
Hardware	Cableado hilo de silicona	4.00	1	4.00
	Potenciómetros control "Bourns"	3.50	3	10.50
	Zócalos válvulas cerámicos + retenedores	1.64	5	8.19
	Switch encendido SPDT ON-OFF	1.86	1	1.86
	Jack entrada/salida	1.25	6	7.50
	Tornillería	1.50	1	1.50
	Fusible	1.00	1	1.00
	Protector cable chasis	0.60	1	0.60
	Switch standby SPDT doble ON-OFF	1.98	1	1.98
	Chasis acero cromado pre-agujereado y serigrafiado	48.00	1	48.00
	Cable de alimentación	2.90	1	2.90
	Placa básica + conectores	12.90	1	12.90
	Componentes	Set resistencias de carbón composite	7.20	1
Set condensadores Phillips		19.60	1	19.60
Condensadores 450V		2.15	3	6.45
			TOTAL (€) =	335.28

Tabla 1. Cost per unit.

Once the economic study is done and we know the investment required, the next step was to contact the national supplier who enjoyed the best price to negotiate a special price advantageous for both.

In this way it was possible to reduce the total amount of 335.28€ to 309€ and include specific information about the most important components (transformers, plate ...) that was not included in the first offer.

In the investment required to purchase all the tools required to perform the work, it is not included in this document the cost of them as in the present case an investment made previously and already amortized for manufacturing takes advantage Tweed Deluxe.

It is interesting to note that the price of similar characteristics amplifier exceeds 1000 € in the market, far from the 309 € which represents material investment. Obviously the cost of skilled labor associated with the construction and assembly of the same would be a significant increase in the final cost of the product, but thanks to the economic advantage and the possibility offered to incorporate substantial improvements in functionality and quality and maintenance as it is not a product "closed" makes us wager on any event by giving the "green light" to the manufacture of Tweed Deluxe.

Definitely the project meets the necessary economic viability to be carried out.



Ilustración 78. Lateral view of the amplifier.

10. CONCLUSION AND OPINION

After completion of the technical study and analysis of all the components that were used we proceeded to manufacture the prototype getting a huge success in terms of sound quality and functionality are concerned.

It compared the fidelity offered by this prototype created with different amplifiers in the market of similar valves and may be categorized as high or very high quality as good as professional range amplifiers whose prices amounted to 2000 € .

It has been tested with different instruments and pedal effects and it responded perfectly to all of them. To complete the prototype and turn it into a final product, there is still manufacturing the outer shell to house the chassis and protect the valves from external factors as well as strokes.

To determine whether this lack structure that will be the case in "Combo" mode, that is, if in one housing will be located along with the speaker amplifier 12 inches; or if instead will "head + speakers" so that the amplifier would have a box which would leave only the essential connections for connecting this with the loudspeaker and use the controls structure. The speakers would be located in a separate box with the advantage of choosing the screen size (and thus the number of cones that would screen) for each occasion, winning versatility.

On a personal level, the development of this project has been very interesting and profitable as I have been able to reuse and expand knowledge of electronics that I obtained in previous years and the end result of this work is perfectly applicable by the author to his everyday life. Certainly it supposed to put the icing on a cake that took several years to be realized.

Moreover, as an additional way to theoretical content that has to be the realization of a project of this nature, having the ability to be physically realizable much more attractive and makes the study and analysis work a pleasant and interesting task . There has been so important that the "how" and "what".

11. BIBLIOGRAFY

- Technical documentation and main source of knowledge.

Designing Tube Preamps for Guitar and Bass – Merlin Blencowe.

- Documentation about power steps

Vacuum Tube Circuit Design: Guitar Amplifier Power Amps - Richard Kuehnel.

Basics of valves

<http://www.amptek.es/pdf/articles/El%20Amplificador%20a%20Valvulas.PDF>

Webs availables at date 02/06/2015:

- Physical principle of operation of thermionic valve tubes.

<http://www.lcardaba.com/articles/valvulas/valvulas.htm>

- Hoffman Ground method.

<http://el34world.com/charts/grounds.htm>

- Built a Fender Tweed Deluxe.

http://www.pisotones.com/Tweed_Deluxe/Faustone/5E3.htm

- Why vacuum tubes?

<http://hermeticoguitar-spanish.blogspot.com.es/2010/09/valvulas-valvulas-y-mas-valvulas.html>

- Tips for mounting and Little tricks.

<http://www.fendermania.com/Forum%20fendermania/phpBB3/viewtopic.php?f=7&t=326>

- Analysis of the valves. History, advantages and disadvantages.

<http://blog.7notasestudio.com/10-cosas-que-no-sabias-valvulas/>

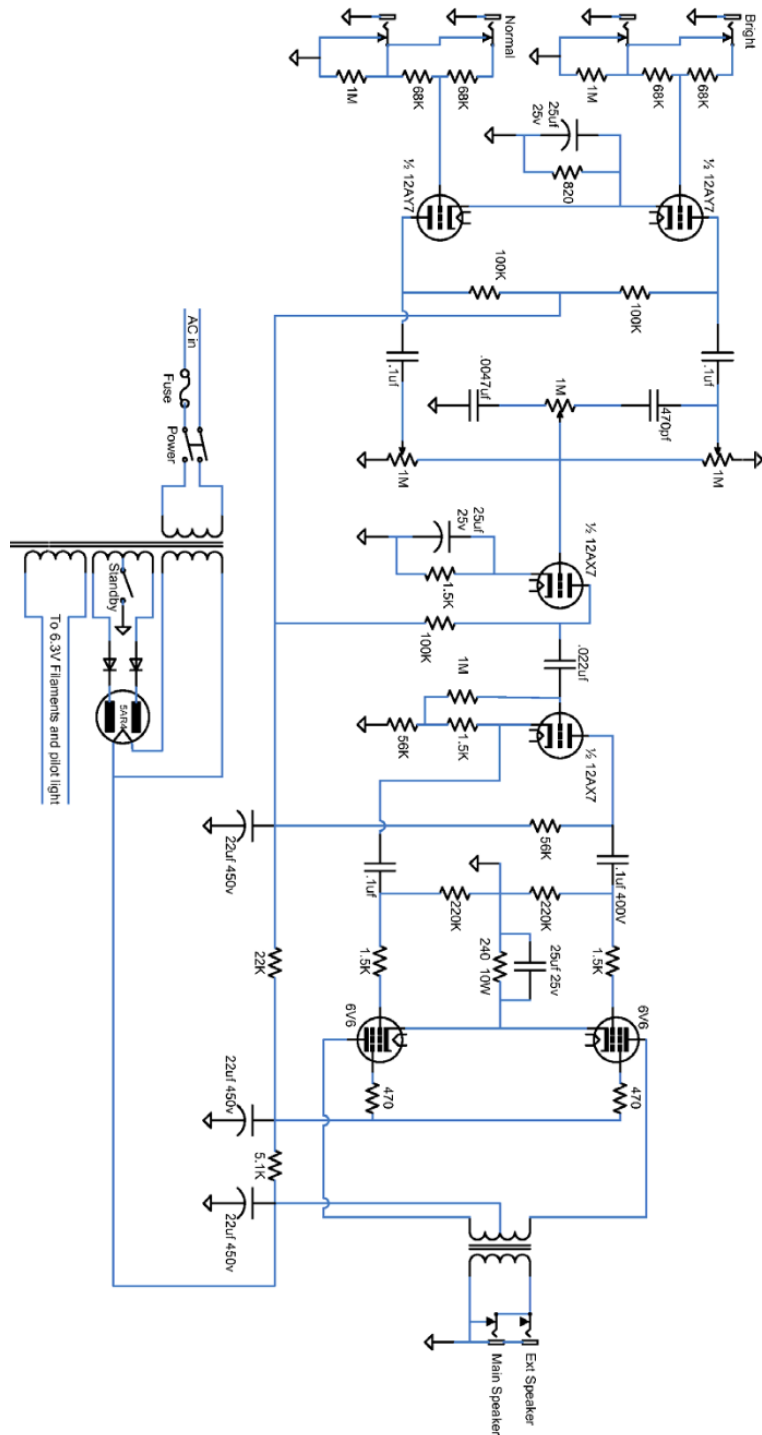
http://docsetools.com/articulos-utiles/article_121427.html

- Changes proposed for Fender 5E3.

<https://rob Robinette.com/>

12. APPENDIX

APPENDIX I. CIRCUIT SCHEMA STUDIED.



APPENDIX II. DATASHEET – RECTIFIER TUBE



5AR4
TWIN DIODE
 FOR FULL-WAVE POWER-RECTIFIER APPLICATIONS

5AR4
ET-T1547
 Page 1
 11-59

DESCRIPTION AND RATING

The 5AR4 is a heater-cathode twin diode designed for full-wave rectifier operation. High output current and small size make this tube especially suitable for compact amplifier designs.

GENERAL

ELECTRICAL

Cathode—Coated Unipotential
 Heater Voltage, AC or DC.....5.0 ± 10% Volts
 Heater Current.....1.9 Amperes

MECHANICAL

Mounting Position—Any
 Envelope—T-9, Glass
 Base—B5-10, Intermediate-Shell Octal 5-Pin

MAXIMUM RATINGS

RECTIFIER SERVICE—DESIGN-MAXIMUM VALUES

Peak Inverse Plate Voltage.....1700 Volts
 AC Plate-Supply Voltage per Plate—See Rating Chart I
 Steady-State Peak Plate Current per Plate.....825 Milliamperes
 Transient Peak Plate Current per Plate,
 Maximum Duration 0.2 Second.....3.7 Amperes
 DC Output Current—See Rating Chart I

Design-Maximum ratings are limiting values of operating and environmental conditions applicable to a bogey tube of a specified type as defined by its published data, and should not be exceeded under the worst probable conditions.

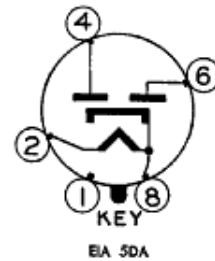
The tube manufacturer chooses these values to provide acceptable serviceability of the tube, taking responsibility for the effects of changes in operating conditions due to variations in tube characteristics.

The equipment manufacturer should design so that initially and throughout life no design-maximum value for the intended service is exceeded with a bogey tube under the worst probable operating conditions with respect to supply-voltage variation, equipment component variation, equipment control adjustment, load variation, signal variation, and environmental conditions.

The tubes and arrangements disclosed herein may be covered by patents of General Electric Company or others. Neither the disclosure of any information herein nor the sale of tubes by General Electric Company conveys any license under patent claims covering combinations of tubes with other devices or elements. In the absence of an express written agreement to the contrary, General Electric Company assumes no liability for patent infringement arising out of any use of the tubes with other devices or elements by any purchaser of tubes or others.



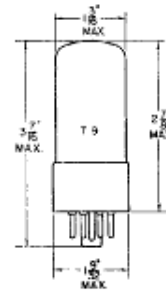
BASING DIAGRAM



TERMINAL CONNECTIONS

- Pin 1—Internal Connection
- Pin 2—Heater
- Pin 4—Plate Number 2
- Pin 6—Plate Number 1
- Pin 8—Heater and Cathode

PHYSICAL DIMENSIONS



EIA 9-15

5AR4
ET-T1547
 Page 2
 11-39

CHARACTERISTICS AND TYPICAL OPERATION

FULL-WAVE RECTIFIER WITH CAPACITOR-INPUT FILTER

AC Plate-Supply Voltage per Plate, RMS.....	450	550	Volts
Total Plate-Supply Resistance per Plate.....	160	200	Ohms
DC Output Current.....	225	160	Milliamperes
DC Output Voltage at Filter Input.....	475	620	Volts

FULL-WAVE RECTIFIER WITH CHOKE-INPUT FILTER

AC Plate-Supply Voltage per Plate, RMS.....	450	550	Volts
Filter Input Choke.....	10	10	Henrys
DC Output Current.....	250	225	Milliamperes
DC Output Voltage at Filter Input.....	375	465	Volts

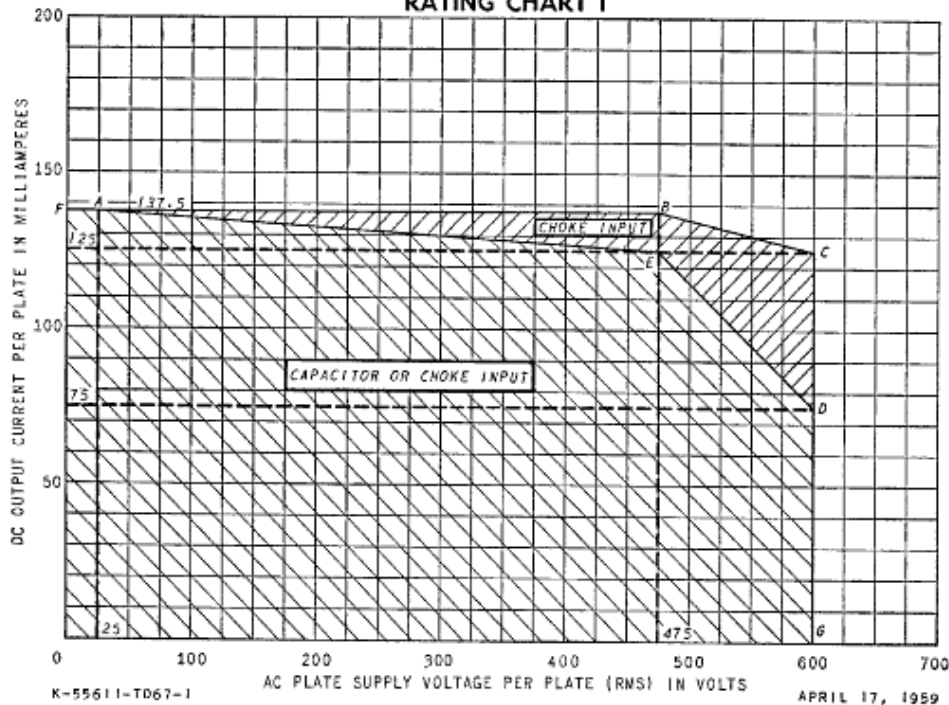
Tube Voltage Drop
 $I_b = 225$ Milliamperes DC per Plate..... 17 Volts

To simplify the application of the maximum ratings to circuit design, the Design-Maximum ratings are presented in chart form as Rating Charts I, II, and III. Rating Chart I presents the maximum ratings for a-c plate supply voltage and d-c output current. Rating Chart II provides a convenient method for checking conformance with the maximum steady-state peak-plate-current rating. Rating Chart III offers a convenient method for checking conformance with the maximum transient peak-plate-current rating. Rating Chart I applies to both capacitor-input and choke-input filters, while Rating Charts II and III apply to capacitor-input filters only.

Operating points should be so selected that the boundary limits of a-c plate supply voltage and d-c output current on Rating Chart I, and maximum d-c output current per plate and rectification efficiency on Rating Chart II, are not exceeded with a bogey tube under the worst probable operating conditions with respect to supply-voltage variation, equipment component variation, equipment control adjustment, and environmental conditions. On Rating Chart I the boundary FAEDG defines the limits for capacitor-input filter operation, and the boundary FABCDG defines the limits for choke-input filter operation.

Rating Chart III shows the minimum value of plate supply resistance (R_p) required to remain within the transient peak-plate-current rating. The value of R_p should be such that it lies to the left of the line on Rating Chart III at the highest probable value of line voltage.

RATING CHART I



APPENDIX III. DATASHEET – POWER TUBE 6V6 GT.



6V6-GT—5V6-GT
BEAM PENTODE

6V6-GT
5V6-GT
 ET-T914
 Page 1
 3-55

DESCRIPTION AND RATING

The 6V6-GT is a beam-power pentode designed for use in the audio-frequency power output stage of television and radio receivers. In this application, it is capable of supplying high power output with high sensitivity, high efficiency, and low third and higher-order harmonic distortion. The 6V6-GT may also be used as a triode-connected vertical-deflection amplifier in television receivers.

Except for heater ratings, the 5V6-GT is identical to the 6V6-GT. In addition, the 5V6-GT, as a result of its controlled heater warm-up characteristic, is especially suited for use in television receivers which employ series-connected heaters. When the 5V6-GT is used in conjunction with other 600-milliampere types which exhibit essentially the same heater warm-up characteristic, heater voltage surges across the individual tubes are minimized during the warm-up period.

GENERAL

ELECTRICAL

Cathode—Coated Unipotential	5V6-GT	6V6-GT
Heater Voltage, AC or DC	4.7	6.3 Volts
Heater Current	0.6	0.45 Amperes
Heater Warm-up Time*	11	— Seconds
Direct Interelectrode Capacitances, approximate†		
Grid-Number 1 to Plate	0.7	μμf
Input	9.0	μμf
Output	7.5	μμf

MECHANICAL

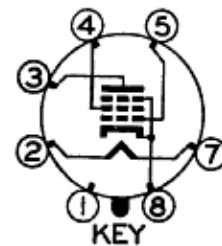
Mounting Position—Any
 Envelope—T-9, Glass
 Base—B6-81 or B7-7, Intermediate Shell Octal
 or B6-84 or B7-59, Short Intermediate Shell Octal

MAXIMUM RATINGS

DESIGN-CENTER VALUES UNLESS OTHERWISE INDICATED

	Class A₁ Amplifier	Vertical-Deflection Amplifier‡ (Triode Connection) x
DC Plate Voltage	315	315 Volts
Peak Positive Pulse Plate Voltage	—	1200▲ Volts
Screen-Supply Voltage	315	— Volts
Screen Voltage	285	— Volts
Peak Negative Grid-Number 1 Voltage	—	250 Volts
Plate Dissipation†	12	9.0 Watts
Screen Dissipation	2.0	— Watts
DC Cathode Current	—	35 Milliampere
Peak Cathode Current	—	105 Milliampere
Heater-Cathode Voltage		
Heater Positive with Respect to Cathode		
DC Component	100	100 Volts
Total DC and Peak	200	200 Volts
Heater Negative with Respect to Cathode		
Total DC and Peak	200	200 Volts
Grid-Number 1 Circuit Resistance		
With Fixed Bias	0.1	— Megohms
With Cathode Bias	0.5	2.2 Megohms

BASING DIAGRAM



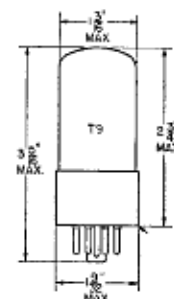
RETMA 74C

TERMINAL CONNECTIONS

- Pin 1—No Connection‡
- Pin 2—Heater
- Pin 3—Plate
- Pin 4—Grid Number 2 (Screen)
- Pin 5—Grid Number 1
- Pin 7—Heater
- Pin 8—Cathode and Beam Plates

‡ Pin 1 omitted on bases B6-81 and B6-84.

PHYSICAL DIMENSIONS



RETMA 9-11
 or 9-41

GENERAL ELECTRIC

Supersedes ET-T914D, dated 6-53

6V6-GT
5V6-GT
ET-T914
 Page 2
 3-55

CHARACTERISTICS AND TYPICAL OPERATION

CLASS A₁ AMPLIFIER

Plate Voltage	180	250	315 Volts
Screen Voltage	180	250	225 Volts
Grid-Number 1 Voltage	-8.5	-12.5	-13.0 Volts
Peak AF Grid-Number 1 Voltage	8.5	12.5	13.0 Volts
Plate Resistance, approximate	50000	50000	80000 Ohms
Transconductance	3700	4100	3750 Micromhos
Zero-Signal Plate Current	29	45	34 Milliampere
Maximum-Signal Plate Current	30	47	35 Milliampere
Zero-Signal Screen Current	3.0	4.5	2.2 Milliampere
Maximum-Signal Screen Current	4.0	7.0	6.0 Milliampere
Load Resistance	5500	5000	8500 Ohms
Total Harmonic Distortion, approximate	8	8	12 Percent
Maximum-Signal Power Output	2.0	4.5	5.5 Watts

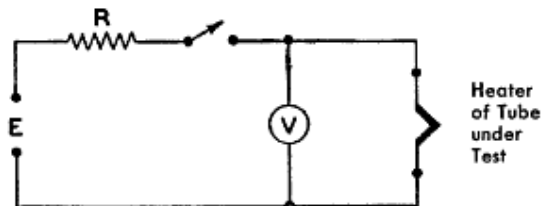
PUSH-PULL CLASS AB₁ AMPLIFIER, VALUES FOR TWO TUBES

Plate Voltage	250	285 Volts
Screen Voltage	250	285 Volts
Grid-Number 1 Voltage	-15	-19 Volts
Peak AF Grid-to-Grid Voltage	30	38 Volts
Zero-Signal Plate Current	70	70 Milliampere
Maximum-Signal Plate Current	79	92 Milliampere
Zero-Signal Screen Current	5.0	4.0 Milliampere
Maximum-Signal Screen Current	13	13.5 Milliampere
Effective Load Resistance, Plate-to-Plate	10000	8000 Ohms
Total Harmonic Distortion	5	3.5 Percent
Maximum-Signal Power Output	10	14 Watts

AVERAGE CHARACTERISTICS, TRIODE CONNECTION†

Plate Voltage	250 Volts
Grid-Number 1 Voltage	-12.5 Volts
Amplification Factor	9.8
Plate Resistance, approximate	1960 Ohms
Transconductance	5000 Micromhos
Plate Current	49.5 Milliampere
Grid-Number 1 Voltage, approximate I _b = 0.5 Milliampere	-36 Volts

* Heater warm-up time is defined as the time required in the circuit shown at the right for the voltage across the heater terminals to increase from zero to the heater test voltage (V₁). For this type, E = 18.7 volts (RMS or DC), V₁ = 3.73 volts (RMS or DC), and R = 23.5 ohms.



† Without external shield.

§ For operation in a 525-line, 30-frame television system as described in "Standards of Good Engineering Practice Concerning Television Broadcast Stations," Federal Communications Commission. The duty cycle of the voltage pulse must not exceed 15 percent of one scanning cycle.

π With screen connected to plate.

▲ Value given is to be considered as an Absolute Maximum Rating. In this case, the combined effect of supply voltage variation, manufacturing variation including components in the equipment, and adjustment of equipment controls should not cause the rated value to be exceeded.

♦ In stages operating with grid-leak bias, an adequate cathode-bias resistor or other suitable means is required to protect the tube in the absence of excitation.

APPENDIX IV. DATASHEET – PREAMPLIFIER TUBE 12AX7 / 12AY7



12AX7
TWIN TRIODE

12AX7
ET-T509B
 Page 1
 6-33

DESCRIPTION AND RATING

The 12AX7 is a miniature high-mu twin triode each section of which has an individual cathode connection. The 12AX7 is especially suited for use in resistance-coupled voltage amplifiers, phase inverters, multivibrators, and numerous industrial-control circuits where high voltage gain is desired. A center-tapped heater permits operation of the tube from either a 6.3-volt or a 12.6-volt heater supply.

GENERAL

Cathode—Coated Unipotential

	Series	Parallel
Heater Voltage, AC or DC	12.6	6.3 Volts
Heater Current	0.15	0.3 Amperes
Envelope—T-6 1/2, Glass		
Base—E9-1, Small Button 9-Pin		
Mounting Position—Any		

Direct Interelectrode Capacitances

	With Shield*	Without Shield
Grid to Plate, Each Section	1.7	1.7 $\mu\mu\text{f}$
Input, Each Section	1.8	1.6 $\mu\mu\text{f}$
Output, Section 1	1.9	0.46 $\mu\mu\text{f}$
Output, Section 2	1.9	0.34 $\mu\mu\text{f}$

MAXIMUM RATINGS

DESIGN-CENTER VALUES, EACH SECTION

Plate Voltage	300 Volts
Positive DC Grid Voltage	0 Volts
Negative DC Grid Voltage	50 Volts
Plate Dissipation	1.0 Watts
Heater-Cathode Voltage	
Heater Positive with Respect to Cathode	180 Volts
Heater Negative with Respect to Cathode	180 Volts

CHARACTERISTICS AND TYPICAL OPERATION

CLASS A₁ AMPLIFIER, EACH SECTION

Plate Voltage	100	250 Volts
Grid Voltage	-1	-2 Volts
Amplification Factor	100	100
Plate Resistance, approximate	80000	62500 Ohms
Transconductance	1250	1600 Micromhos
Plate Current	0.5	1.2 Milliamperes

* With external shield (RETMA 315) connected to cathode of section under test.



Supersedes ET-T509A dated 2-51

BASING DIAGRAM

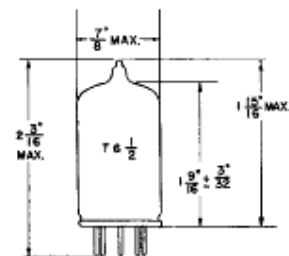


RETMA 9A
 BOTTOM VIEW

TERMINAL CONNECTIONS

- Pin 1—Plate (Section 2)
- Pin 2—Grid (Section 2)
- Pin 3—Cathode (Section 2)
- Pin 4—Heater
- Pin 5—Heater
- Pin 6—Plate (Section 1)
- Pin 7—Grid (Section 1)
- Pin 8—Cathode (Section 1)
- Pin 9—Heater Center-Tap

PHYSICAL DIMENSIONS



RETMA 6-2



12AY7
TWIN TRIODE

FOR LOW-LEVEL AMPLIFIER APPLICATIONS

DESCRIPTION AND RATING

The 12AY7 is a miniature medium-mu twin triode designed primarily for use in low-level stages of high-gain audio-frequency amplifiers. The tube is specially designed to exhibit low noise and low microphonic output. In addition, hiss and hum output voltages are controlled to limits consistent with the requirements of low-level amplifier applications.

GENERAL

ELECTRICAL

Cathode—Coated Unipotential	Series	Parallel
Heater Voltage, AC or DC	12.6	6.3 Volts
Heater Current	0.15	0.3 Amperes
Direct Interelectrode Capacitances*		
Grid to Plate: (g to p), Each Section		1.3 pf
Input: g to (h+k), Each Section		1.3 pf
Output: p to (h+k), Each Section		0.6 pf

MECHANICAL

Mounting Position—Any
 Envelope—T-6½, Glass
 Base—E9-1, Small Button 9-Pin

MAXIMUM RATINGS

DESIGN-CENTER VALUES, Each Section

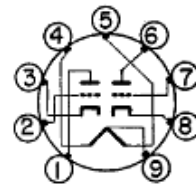
Plate Voltage	300 Volts
Plate Dissipation	1.5 Watts
DC Cathode Current	10 Milliampers
Heater-Cathode Voltage	
Heater Positive with Respect to Cathode	90 Volts
Heater Negative with Respect to Cathode	90 Volts

Design-center ratings are limiting values of operating and environmental conditions applicable to a bogey electron tube of a specified type as defined by its published data and should not be exceeded under normal conditions.

The tube manufacturer chooses these values to provide acceptable serviceability of the tube in average applications, making allowance for normal changes in operating conditions due to rated supply-voltage variation, equipment component variation, equipment control adjustment, load variation, signal variation, environmental conditions, and variations in the characteristics of the tube under consideration and of all other electron devices in the equipment.

The equipment manufacturer should design so that initially no design-center value for the intended service is exceeded with a bogey tube under normal operating conditions at the stated normal supply voltage.

BASING DIAGRAM

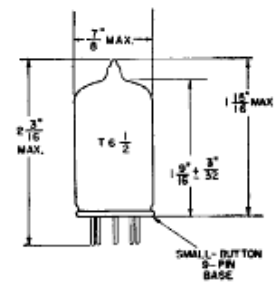


EIA 9A

TERMINAL CONNECTIONS

- Pin 1—Plate (Section 2)
- Pin 2—Grid (Section 2)
- Pin 3—Cathode (Section 2)
- Pin 4—Heater
- Pin 5—Heater
- Pin 6—Plate (Section 1)
- Pin 7—Grid (Section 1)
- Pin 8—Cathode (Section 1)
- Pin 9—Heater Center Tap

PHYSICAL DIMENSIONS



EIA 6-2



APPENDIX V. DATASHEET – OUTPUT TRANSFORMER.

Replacement - Tube Guitar Output (1750 Series)



TUBE GUITAR AMPLIFIER - OUTPUT TRANSFORMERS

- Designed for drop in replacement of original tube guitar amplifier output transformers.
- Physically, parts were designed to look similar to original factory units (where possible).
- Material used & design specs. were kept as close as possible to the original part to preserve the stock "tone".
- For individual photos of each part - visit our website: www.hammondmfg.com

Guitar Amp

Part No.	Primary (Ohms)	Secondary (Ohms)	Amplifier Type	Power (Watts)	Amplifier Manufacturer	Amplifier Model Names	Equivalent To Mfg's Part Number
1750A	22,800	8	Single Ended	3.5	Fender	Reverb Driver	125A20B & 022921
1750C	7,000	3.2	Single Ended	5	Fender	Champ, Vibro-Champ, Bronco	125A35A & 022905
1750E	8,000 C.T.	8	Push-Pull	15	Fender	Princeton Reverb, Tweed Deluxe	125A10B & 022913
1750F	6,950 C.T.	8	Push-Pull	15	Fender	Blues Junior	049969
1750H	6,600 C.T.	8	Push-Pull	20	Fender	Deluxe, Deluxe Reverb	125A1A & 022640
1750J	4,000 C.T.	4	Push-Pull	35	Fender	Pro-Reverb, Tremolux, Vibrolux	125A6A & 022848
1750K	4,000 C.T.	2	Push-Pull	50	Fender	Tweed Bassman, Super Reverb	125A9A & 022855
1750L	4,200 C.T.	4	Push-Pull	50	Fender	Bassman	125A13A & 022871
1750M	4,200 C.T.	2, 4, 8	Push-Pull	50	Fender	General Replacement	125A13A & 022871
1750W	2,000 C.T.	4	Push-Pull	100	Fender	Dual Showman, Twin Reverb	125A29A & 022889
1750N	3,200 C.T.	4, 8, 16	Push-Pull	50	Marshall	JMP, JCM 800	-
1750P	126, 500, 2,000	2, 4, 8, 16	Push-Pull	50	Marshall	JCM 900	-
1750Q	7,371 C.T.	4, 8, 16	Push-Pull	50	Marshall	JTM 45	-
1750U	1,700 C.T.	4, 8, 16	Push-Pull	100	Marshall	JMP, JCM 800	-
1750X	126, 500, 2,000	2, 4, 8, 16	Push-Pull	100	Marshall	JCM900	-
1750Y	6,300 C.T.	8	Push-Pull	15	VOX	AC15	-
1750V	4,000 C.T.	8, 16	Push-Pull	30	VOX	AC30 Vintage	-
1750T	4,000 C.T.	8, 16	Push-Pull	30	VOX	AC30 Reissue	-
1750G	3,800 C.T.	4, 8, 16	Push-Pull	50	Yorkville/Traynor	General Replacement	-
1750R	2,000 C.T.	4, 8, 16	Push-Pull	100	Yorkville/Traynor	General Replacement	-

DISCLAIMER: Hammond Mfg. is not affiliated with Fender Musical Instruments Corp., Marshall Amplification, Yorkville/Traynor or VOX Amplification companies. Amplifier model names Blues Junior, Bandmaster, Bandmaster Reverb, Bassman, Bassman 100, Bronco, Champ, Vibro-Champ, Deluxe, Deluxe Reverb, Dual Showman, Princeton Reverb, Pro Reverb, Reverb Driver, Super Reverb, Tremolux, Tweed Bassman, Tweed Deluxe, Twin Reverb, Twin Super, Vibrolux & Vibrolux Reverb are all trademarks of Fender Musical Instruments Corp.

APPENDIX V. DATASHEET – FEEDING TRANSFORMER

