

Informe de laboratorio - TP Válvulas

Medición del punto de polarización, recta de carga
estática y dinámica y ganancias de tensión.



Circuitos Electrónicos I, Ingeniería de Sonido, UNTREF

Profesor: David Chaikh

Ayudante: Juan Guido Cotella

Estudiantes: Lautaro Filgueira
 Jonathan Freidkes
 Tomás laquinta

14 Junio 2016 - Caseros, Buenos Aires, Argentina.

Introducción y objetivos

El objetivo del presente trabajo práctico es la medición y cálculo de puntos de polarización, rectas de carga estática y dinámica y ganancia de tensión variable a través de un potenciómetro. La intención es interiorizarse en el trabajo con válvulas, que tienen un tratamiento distinto a los semiconductores desarrollados y experimentados en otras experiencias, ya que a pesar de la antigüedad de la válvula termoiónica, en la rama de la electrónica de audio, su uso sigue siendo intensivo debido a parámetros subjetivos de apreciación en el tratamiento de la señal procesada.

Teoría relacionada y aplicada al TP

Válvula termoiónica

La válvula termoiónica o triodo de vacío es un componente electrónico utilizado principalmente para la amplificación de señales. Se compone de un ánodo (por encima del filamento) y una placa en extremos opuestos, con una grilla en el punto intermedio, inmersos en una ampolla de vidrio cuyo interior presenta vacío. Al calentar el filamento por circulación de corriente eléctrica (a la tensión indicada por el fabricante, generalmente de corriente alterna o continua en distintos valores), se produce desprendimiento de electrones en el ánodo, formando una nube termoiónica con dirección a la placa en la parte superior de la válvula. Al imponer una diferencia de potencial en la grilla, por acción de un campo eléctrico se varía el comportamiento de la corriente dentro de la ampolla, I_P que generará cambios análogos en la tensión V_P ($\sim V_{AK}$). La vida útil de este componente está dada por el filamento allí presente, generalmente hecho de Wolframio.

Punto de polarización

Se define como punto de polarización a los valores V_{AKQ} e I_{PQ} que determinan la referencia de funcionamiento de la válvula en el desarrollo de corriente alterna. A partir del valor de tensión descrito se desarrollará la señal de salida en excursión positiva y negativa respecto de ese nuevo centro. Hay varias topologías circuitales de polarización, principalmente conocida I_{PQ} *constante*.

Transferencia

Se define como transferencia la relación entre la salida y entrada de un sistema, en este caso, lo que sucede entre la señal de salida del circuito y la entrada del mismo, dada por el generador de ondas. Se analiza así las modificaciones que imprime el circuito en cuestión a las señales que se procesan.

Excursión de salida

Se define como excursión de salida, los límites que impone el circuito para que la señal a la salida se desarrolle en condiciones óptimas de funcionamiento, fuera de la región de saturación, es decir que sea solamente amplificada por el circuito. En el caso de la válvula termoiónica no es tan crítico el rango de excursión como sucede en el BJT o en el caso del JFET debido a que los valores de tensión de fuente (V_{pp}) utilizados son muy superiores a los órdenes de magnitud que presenta la señal de salida de este tipo de circuitos. Aquí la comparación es de un rango dinámico superior a los 200 V_{pp} cuando la señal que se trabaja, tiene un rango dinámico de salida alrededor de los 30 V_{pp} .

Instrumentos y materiales utilizados

Generador de señales

El mismo consiste en un dispositivo analógico que se utiliza para proveer la entrada al circuito, la señal utilizada consistió en un tono puro de 1 KHz, cuya amplitud varía en función del experimento utilizado.

Osciloscopio

El osciloscopio que se utiliza consiste en un instrumento digital que contiene dos entradas, las cuales fueron alimentadas con puntas de osciloscopio en la posición 1x.

La función del osciloscopio consiste en utilizar ambas entradas, una para monitorear la entrada al sistema a analizar y otra para monitorear la salida. El monitoreo de la entrada es fundamental para verificar que la misma es estable y no presenta ruido, lo cual modificaría la salida mostrando efectos que no son necesariamente parte del sistema. El análisis de la salida permite ver los efectos del sistema, pudiendo analizar en tiempo real variaciones de amplitud, presencia de ruido y distorsión de la señal.

A su vez el osciloscopio tiene la función FFT (*Fourier Fast Transform, Transformada Rápida de Fourier*), la cual permite hacer un análisis en tiempo real del espectro en frecuencias de la señal a la cual se le aplica la función. El análisis en el dominio de la frecuencia permite analizar el agregado de contenido armónico en la señal producido por el sistema, dicho fenómeno se explica posteriormente.

Multímetro

Instrumental que permite medir varios parámetros, en este caso se utiliza para medir tensión, corriente y resistencia. El multímetro tiene cuatro entradas: una común (referencia), una para medir tensión y resistencia y dos que permiten medir corriente

con distintos valores de la misma, debido al bajo nivel de corrientes analizado se utilizó la entrada cuya amplitud máxima es 200 mA.

El multímetro permite medir tanto tensiones y corrientes alternas como continuas, en este caso se utilizó solamente para medir tensiones y corrientes continuas, en particular para verificar que los puntos de polarización sean los correctos, lo que es un indicador de que el circuito se encuentra bien o mal armado.

Fuente de alimentación

Fuente de tensión que permite definir la diferencia de potencial con la cual se alimenta el circuito. Se utilizan dos fuentes de alimentación distintas para el circuito, debido a la gran diferencia en los órdenes de magnitud correspondientes. La fuente para el filamento tiene dos niveles de precisión lo cual es fundamental para poder seleccionar la tensión correcta y descartar errores producidas por la misma, es importante verificar con el multímetro que la fuente funciona correctamente y genera el valor dado en el panel frontal, ya que como todo instrumental de ensayo puede presentar fallas. Además, al ser un instrumento pensado para experimentación contiene mecanismos de seguridad que protegen tanto a la fuente como al usuario. En el caso de la alimentación general del circuito se utiliza un arreglo de transformadores desde la línea de alimentación de la universidad de 220 V_{RMS} de corriente alterna. Inicialmente se conecta un autotransformador *VARIAC* que permite variar la diferencia de potencial de 220 V a un valor de 256 V, luego encadenado con dos transformadores, el primero de relación 220/9 y el segundo 12/220 con el fin de bajar esa tensión dada por el autotransformador de entrada y asimismo desacoplar eléctricamente el circuito de la línea de tensión del edificio por protección de seguridad. Es así como a la salida de esta serie de transformadores encadenados se logra una tensión de 180 V_{RMS} .

Protoboard

La misma consiste en una base sobre la cual se arma el circuito a ser analizado, está separada en tres partes, dos de las cuales son columnas dobles destinadas a la alimentación, las mismas se encuentran señaladas con signos positivos y negativos y los colores rojo y azul respectivamente. La tercera sección consiste en dos subsecciones separadas, las cuales contienen filas con la misma diferencia de potencial, pero cada fila está aislada una de la otra. Cada una de las mismas contiene 5 casilleros en los cuales se colocan los terminales de los componentes, los casilleros tienen un sistema de sujeción que evita que los componentes se muevan.

En este caso la protoboard fue utilizada de manera tal que en la columna negativa se colocó la masa y en el positivo la alimentación. Los componentes fueron colocados de acuerdo a los circuitos analizados, teniendo en cuenta una correcta

disposición que evite la interconexión de los terminales sobresalientes y a su vez facilite la medición en los puntos que se consideraron pertinentes.

Componentes

Resistencias

Los diversos valores de resistores que se utilizan corresponden a las resistencias de carbón, las cuales se caracterizan por un código de colores de cuatro bandas, siendo las tres primeras el valor de la resistencia y la cuarta la tolerancia. Los valores de tolerancia utilizados fueron al 5 % que refleja la dispersión del valor real de la resistencia, respecto al valor ideal, debido al proceso de fabricación y material que está compuesta. Por otro lado, las resistencias se supeditan a otro parámetro, el cual es la potencia máxima disipada, en este caso se utilizaron resistencias $\frac{1}{2}$ Watt. Se utiliza también un potenciómetro, que consiste en una resistencia de valor variable con 3 extremos, que permite a través de un eje giratorio alterar el valor de resistencia presentado entre el centro y cada uno de los extremos del mismo.

Capacitores

Los capacitores que se utilizan son en su mayoría electrolíticos de aluminio correspondientes a distintos valores de capacidad y tensiones de al menos 16 V, debido a las características del circuito. Es importante destacar que los capacitores electrolíticos se caracterizan por sus grandes capacidades respecto a sus dimensiones y a la vez de ser polarizados, es decir que se debe prestar especial atención a la hora de la colocación, ya que un error en este aspecto implica, en general, la rotura del mismo o una falla en el funcionamiento del circuito. En los capacitores electrolíticos el ánodo está constituido de aluminio el cual se enrolla alrededor de un dieléctrico, que consiste en una capa de óxido logrado por un proceso de anodización. El cátodo consiste en otro material que recubre la capa de óxido.

También se utilizan capacitores cerámicos, de valores bajos de capacidad y alta tensión no polarizados.

Transformador de tensión

El transformador de tensión es un elemento electromagnético que a partir de la generación de un campo magnético por inducción a través de la circulación de corriente alterna en un bobinado primario genera una tensión alterna proporcional a la cantidad de vueltas en el bobinado secundario. Estos bobinados se montan sobre un núcleo de hierro que ayuda a direccionar el campo magnético presentado. A pesar de que en la consideración ideal, la potencia en el bobinado primario sea igual a la del secundario, se verifica empíricamente que esto no sucede y se dan pérdidas de potencia en el alambre de cobre para el bobinado, en el núcleo y por corrientes parásitas, y además

se presenta una curva de histéresis que indica el punto de saturación del transformador.

Diodo de juntura

El diodo de juntura es un semiconductor formado por la simple yuxtaposición de un material tipo P y un material tipo N. Esto genera que se logre circulación de corriente en condición normal únicamente en un sentido, desde el ánodo (material P) hacia el cátodo (material N). En el sentido inverso de circulación, se especifica una tensión de ruptura a partir de la cual la circulación de corriente crece en forma exponencial muy rápidamente y se puede llegar a la destrucción del componente. Para esta experiencia se utiliza un diodo 1N4007 para la rectificación de la tensión presente en el secundario del segundo transformador de la cadena con el fin de lograr una tensión continua en el circuito, es decir que se logra la circulación solamente del hem ciclo positivo de la onda senoidal de 180 V.

Válvula termoiónica

Se utiliza para la experiencia la válvula, muy usada para aplicaciones de audio, de modelo 12AX7, de marca desconocida, de origen chino. Este tipo de válvula es un doble triodo de 9 pines que permite trabajar las tensiones de filamento de ambos triodos en simultáneo o en forma independiente con alta ganancia de tensión. Se muestra a continuación en la figura 1 el *pinout* de este modelo.

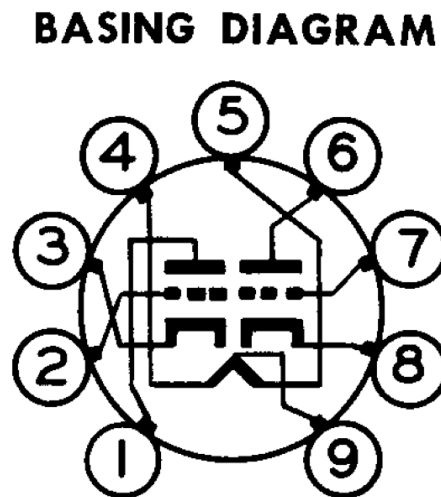


Figura 1: Diagrama de conexión válvula doble triodo 12AX7.

| | | |
|----------|---|-------|
| V_{P2} | 1 | 261 V |
| V_{G2} | 2 | 257 V |
| V_{K2} | 3 | 0 V |

Dado estos valores, que resultan esperables, menos la diferencia entre V_{G2} y V_{P1} , se procede a conectar la válvula en el zócalo, alimentando al filamento con una fuente de tensión continua y se miden puntos de polarización. Se obtiene ahora las tensiones que se muestran en la tabla 2, pudiendo observar claramente una gran caída en el valor de los mismos una vez que comienza a circular corriente por el circuito y por la válvula.

Tabla 2: Valores medidos con válvula conectada.

| Punto medido | Número de pin | Medición |
|--------------|---------------|----------|
| V_{P1} | 6 | 77,2 V |
| V_{G1} | 7 | 27,2 V |
| V_{K1} | 8 | 29 V |
| V_{P2} | 1 | 249 V |
| V_{G2} | 2 | 78 V |
| V_{K2} | 3 | 80 V |
| V_{C4} | - | 250 V |
| V_{C3} | - | 248 V |

Aquí se observa por la diferencia medida en V_{C3} y V_{C4} que hay caída de tensión en R_6 de aproximadamente 2 V. Por la ubicación de este resistor, al darse un cortocircuito por error de medición o de ubicación en la protoboard, se quemó debido a la alta corriente experimentada al desconectar la alimentación y quedar los capacitores cargados, con diferencia de potencial entre sí.

Con estos valores se logra conocer la tensión del punto Q_1 con la siguiente fórmula:

$$V_{AK1} = V_{PP} - V_{RP1} - V_{RK1} \quad (1)$$

Obteniendo un valor de $V_{AKQ1} = 141,8$ V

Para la obtención de la corriente de punto Q_1 I_{PQ1} se utiliza:

$$I_{PQ1} = V_{RK1}/R_{K1} \quad (2)$$

Obteniendo un valor de $I_{PQ1} = 0,743$ mA. Cabe la aclaración que el potenciómetro R_8 se encuentra en 0Ω para esta condición de medición.

Para la obtención del punto Q_2 se utiliza el razonamiento análogo obteniendo $V_{AKQ2} = 168 \text{ V}$ y $I_{PQ2} = 1,176 \text{ mA}$.

Así se logra llegar a las rectas de carga estática *RCE* experimental que se muestran en la figura 2 sobre las curvas dadas en la hoja de datos de *General Electric* para el modelo de válvula utilizada.

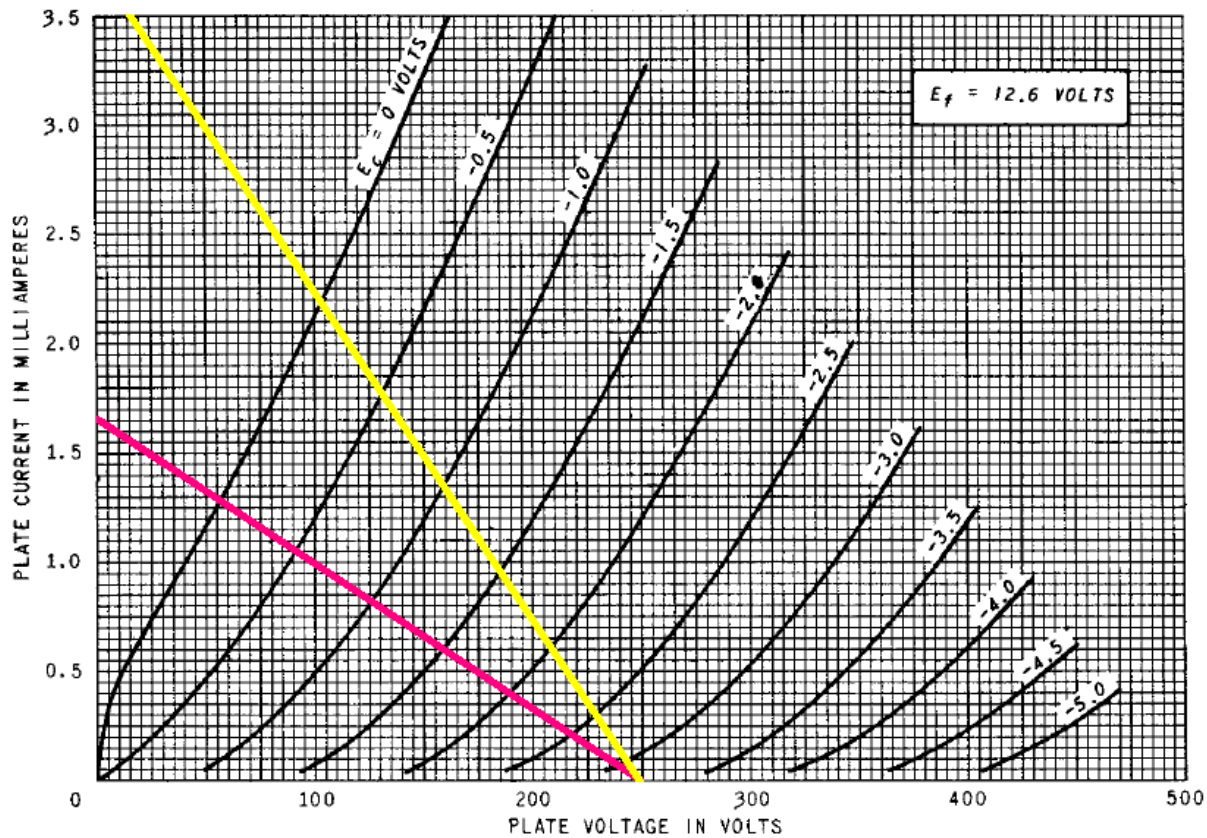


Figura 3: Recta de carga estática con valores medidos sobre la figura del datasheet. La recta amarilla representa el triodo 1 (*placa común*) y la rosa el triodo 2 (*cátodo común*).

Finalmente se procede a conectar el generador de señales al circuito para poder observar en el osciloscopio la tensión de entrada y de salida en simultáneo y las formas de onda correspondientes con el fin de obtener los valores de ganancia que se muestran en la tabla 3.

Tabla 3: Ganancias de tensión medidas sobre el circuito.

| Valor R_g | V_i | V_o | G_v en veces | G_v en dB |
|---------------|----------------------|----------------------|----------------|-------------|
| 0Ω | 504 mV _{pp} | 32,2 V _{pp} | -63,89 | 36,1 dB |
| 10 K Ω | 584 mV _{pp} | 5,6 mV _{pp} | -9,59 | 19,63 dB |

Variando el nivel de señal de entrada se observa que la saturación a máxima ganancia se logra a partir de $V_O = 112 V_{pp}$.

Cálculos

Se realizan los cálculos para comparar con los valores medidos y ver las diferencias entre la teoría y lo medido experimentalmente y se muestran en la tabla 4.

Tabla 4: Puntos de polarización calculados.

| Punto calculado | Número de pin | Valor |
|-----------------|---------------|----------|
| V_{P1} | 6 | 151,3 V |
| V_{G1} | 7 | 33,33 V |
| V_{K1} | 8 | 32,08 V |
| V_{P2} | 1 | 250 V |
| V_{G2} | 2 | 151,3 V |
| V_{K2} | 3 | 117,42 V |
| V_{GK1} | - | -1,25 V |
| V_{GK2} | - | -1,8 V |
| V_{AKQ1} | - | 119,22 V |
| I_{PQ1} | - | 0,82 mA |
| V_{AKQ2} | - | 132,58 V |
| I_{PQ2} | - | 1,73 mA |

Cabe aclarar que las corrientes I_{PQ1} y I_{PQ2} se calculan a partir de los valores V_{RK1} y V_{RK2} respectivamente y las resistencias R_{K1} y R_{K2} .

Se calcula la ganancia de tensión G_v máxima y mínima para el circuito planteado obteniendo los valores de la tabla 5. Como la válvula 2 funciona de buffer, se asume que su ganancia es 1 (0 dB), por lo que la ganancia total que es la multiplicación de ambas ganancias en veces, o la suma en dB, se obtiene en base a G_{V1} (*cátodo común*).

Tabla 5: Ganancias de tensión calculadas.

| Valor R_8 | G_V en veces | G_V en dB |
|---------------------|----------------|-------------|
| 0Ω | -65,4 | 36,3 dB |
| $10\text{ K}\Omega$ | - 5,8 | 15,3 dB |

Se muestran en la figuras 4 y 5 las rectas de carga estática calculadas para ambos triodos de la válvula 12AX7 sobre las curvas dadas en la hoja de datos de *General Electric*.

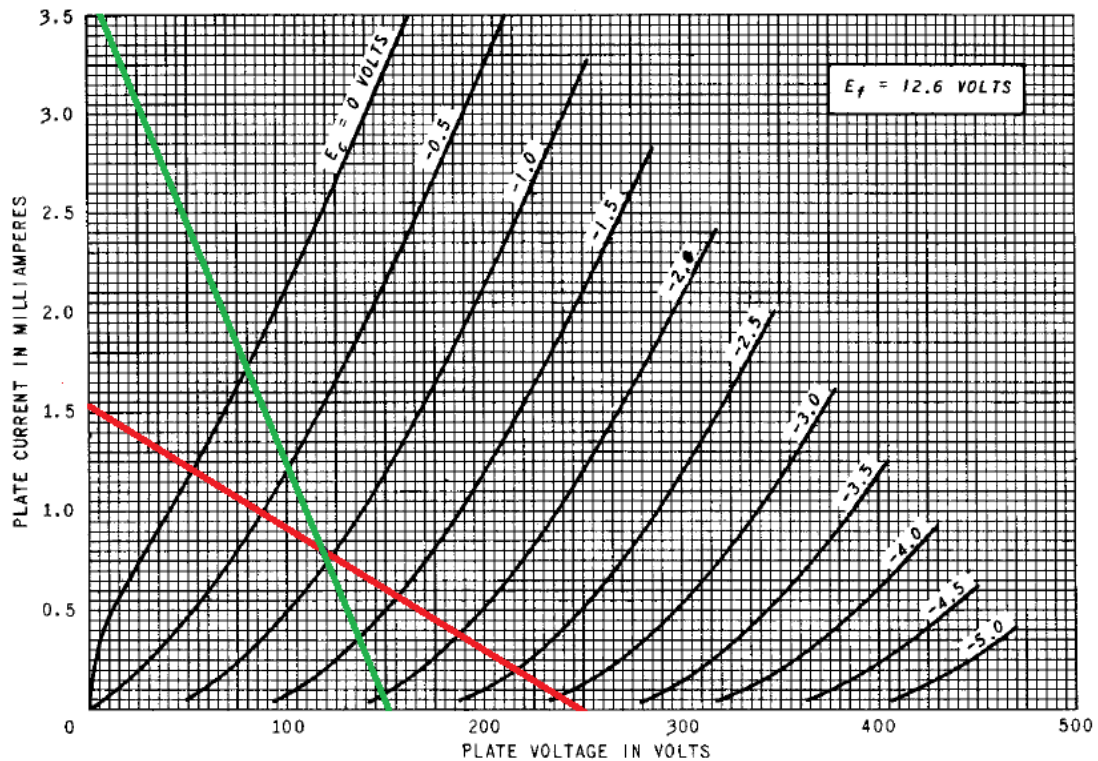


Figura 4: Recta de carga estática para el triodo 2 (*cátodo común*). La recta roja representa la recta de carga estática y la verde la recta de carga dinámica.

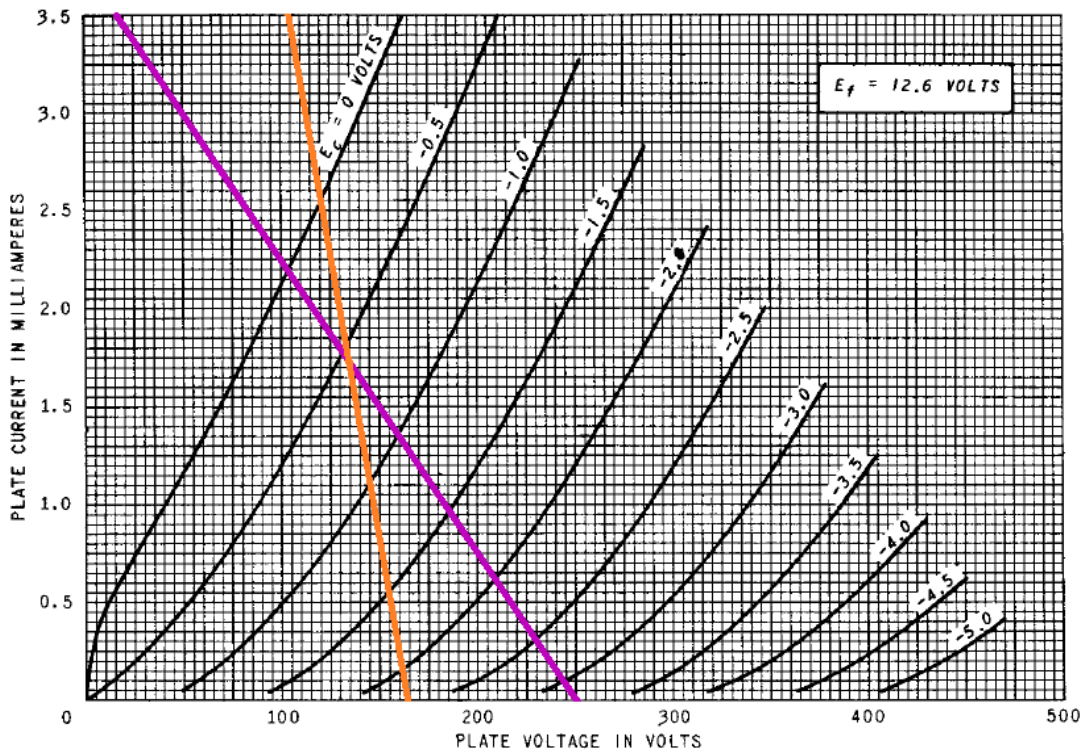


Figura 5: Recta de carga estática para el triodo 1 (*placa común*). La recta violeta representa la recta de carga estática y la naranja la recta de carga dinámica.

Conclusiones

Se asume que las diferencias entre los valores medidos y calculados se debe a alinealidades en el comportamiento de la válvula, la falta de precisión en los valores de las resistencias utilizadas (5% de tolerancia) y de los capacitores, errores en la medición y en que el cálculo se basa en un valor de tensión V_{PP} que no es el medido experimentalmente. Se logró observar y medir satisfactoriamente el funcionamiento de un importante elemento en la electrónica de audio como es la válvula termoiónica.