

Amplificador Estabilizador GAP/R SK2-P



Fig. 1 – Amplificador estabilizador GAP/R SK2-P.
(Museu Faraday)

O primeiro amplificador operacional (ampop) foi fabricado e comercializado pela empresa [George A Philbrick](#) (1913-1974) Researches (GAP/R) em 1952, com a designação GAP/R K2-W, Fig.1. Este amplificador foi projetado por [Loebe Julie](#) (1910-2015), um investigador da [Columbia University](#), em Nova Iorque, EUA.

Loebe Julie já tinha projetado um primeiro amplificador operacional em 1943, mas a forma compacta do GAP/R K2-W2 foi produzida em série por G. A. Philbrick, a partir de 1952.

L. Julie seria, mais tarde, o fundador da [Julie Reserach Labs](#).

G. Philbrick é considerado o pai da computação analógica, pois foi dos primeiros investigadores a projetar e a usar amplificadores a válvulas em sistemas de controlo, em tempo real, ainda antes da 2ª guerra mundial.

As arquiteturas inovadoras destes amplificadores operacionais a válvulas foram, depois, replicadas para os amplificadores operacionais realizados com transístores discretos e, mais tarde, foram também a base das arquiteturas usadas nos amplificadores operacionais monolíticos.

Os amplificadores operacionais a válvulas, de George Philbrick, eram normalmente realizados com duas válvulas duplo tríodo, 12AX7¹, alimentadas com uma tensão contínua de placa de cerca de 200 V e com a tensão de filamento de 12,6 V ou 6,3 V AC, consoante os filamentos fossem ligados em série ou em

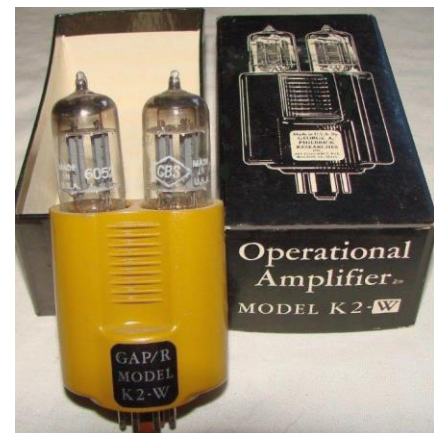


Fig. 2 - Ampop GAP/R K2-W.

¹ Ainda hoje a 12AX7, ou ECC83 na designação europeia, é o duplo tríodo preferido pelos amantes de áudio, devido ao facto de cada tríodo ter um ganho máximo de tensão de 100, praticamente constante, com as diferentes condições de polarização.

paralelo. A 12AX7, introduzida em 1947, é uma herdeira da válvula 6SL7, um excelente duplo triodo pra aplicações de áudio, que começou a ser fabricada em 1941 e que tão bom desempenho proporcionou nos aparelhos usados na 2ª guerra mundial. A 6SL7 tinha 8 terminais, numa configuração designada por octal, mas a 12AX7 (versão miniatura) tem uma configuração de 9 terminais, mais compacta, designada por suporte noval.

Uma das válvulas 12 AX7 era usada como amplificador diferencial; o ganho de tensão máximo deste amplificador seria de 100, com uma largura de banda da característica de resposta em frequência bastante grande. Com a introdução da realimentação positiva no andar de entrada, G. Philbrick obtinha um ganho de tensão muito maior e uma largura de banda bastante mais pequena. O primeiro andar do amplificador operacional introduzia, assim, um polo dominante na característica de resposta em frequência do amplificador operacional, situação que é vantajosa do ponto de vista da estabilidade do amplificador quando este for aplicado com realimentação negativa (realizando-se assim a compensação ou estabilização por polo dominante).

Este primeiro amplificador operacional GAP/R K2-W tinha um ganho de tensão de 15000 e uma impedância de saída inferior a 1000 ohm, em malha aberta. Em 1953 foi criada uma versão com maior capacidade de corrente de saída, o amplificador GAP/R K2-X.

[Ver aqui um resumo da evolução do amplificador operacional.](#)

A redução da tensão de desvio dos ampops.

Estes amplificadores operacionais eram muito precisos, devido à estabilidade térmica das válvula, e a tensão de desvio (offset) era muito precisa, tipicamente desviava menos do que 5 mV por dia. Todavia, para as aplicações que exigiam maior precisão no processamento de sinais contínuos, G. Philbrick criou os amplificadores estabilizadores, ver Fig. 3 onde está representado o GAP/R K2-P.

Este amplificador GAP/R K2-P, era usado como redutor deste desvio, acompanhando os amplificadores operacionais da sua linha de fabricação. A letra P associada à designação K2 traduz a existência de um mecanismo de ("chopper²"), depois de [Edwin Goldberg e Jules Lehmann](#), em 1949, terem inventado e patenteado este processo de redução de erros nos amplificadores de corrente contínua (pat. US2684999).

Nestes amplificadores estabilizadores também era usada a válvula 12AX7 que tinha 9 pinos de ligações, o *chopper* tinha 7 pinos. O amplificador estabilizador era montado num suporte octal com 8 pinos. O amplificador estabilizador era usado como uma válvula normal com suporte octal, que devia ser associado ao amplificador operacional.

Na Fig. 4 podem observar-se a válvula 12 AX7 e o *chopper*. G. Philbrick escolhia e testava estes componentes, provenientes de fornecedores externos, de modo a terem o melhor desempenho e marcava-os com a marca GAP/R.



Fig. 3 – Amp. GAP/R K2-P.



Fig. 4- Válvula 12 AX7 e *chopper*.

² O *chopper* era um seletor de circuitos eletromecânico, atuado pela corrente alternada com frequência de 60 Hz ou 50 Hz, que ligava alternadamente um circuito a outros dois.

O ganho de tensão contínua (DC) do GAP/R K2-P era cerca de 1000 e a impedância de saída era de 22 M Ω em paralelo com um condensador de 1 mili Farad, o que corresponde a ter uma constante de tempo de saída de 22 s.

Este amplificador reduz a tensão contínua de desvio (*offset*) do amplificador operacional de cerca de 1000 vezes.

Nos esquemas dos amplificadores operacionais de alta precisão, como o que está representado na Fig.5, relativa a um amplificador inversor com ganho de tensão $-Z2/Z1$, o amplificador estabilizador está representado por um símbolo triangular com a letra P no seu interior.

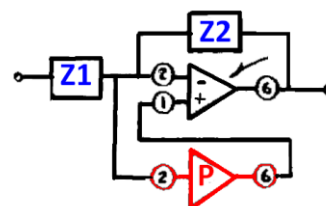


Fig. 5 – Circuito inversor de tensão com Ampop GAP/R K2-W e amplificador estabilizador P.

Na Fig.6 pode ver-se a fotografia de um amplificador operacional a válvulas, GAP/R SK2-P, existente no Museu Faraday do IST, que foi doado pela [Profa. Helena Avelino](#), herdeira dos equipamentos de investigação e desenvolvimento da empresa portuguesa Servotrol.

Engenharia inversa do GAP/R SK2-P.

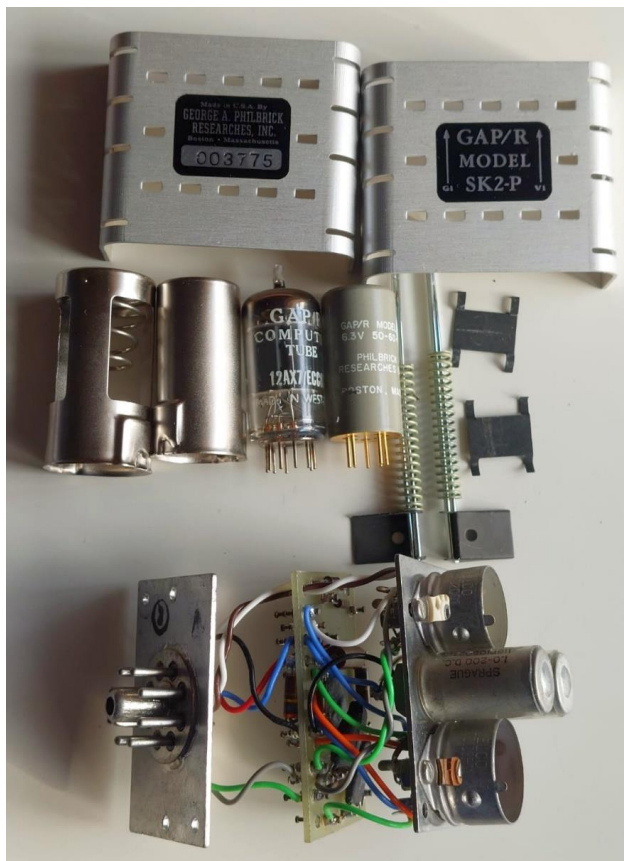


Fig. 6- Partes constituintes do GAP/R SK2-P.

Na Fig. 6 podem observar-se as partes constituintes do GAP/R SK2-P, cuja arquitetura vais ser analisada posteriormente.

[A evolução do amplificador operacional.](#)