

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA - EEL
EEL7319 - CIRCUITOS RF

TDA7000

GUSTAVO SIMAS DA SILVA

FLORIANÓPOLIS
DEZEMBRO, 2020

“Die Grenzen meiner Sprache bedeuten die
Grenzen meiner Welt”

Ludwig Wittgenstein

Sumário

Introdução	4
Blocos Construtivos	5
Entrada RF	6
Feedback	8
Estágio de saída	8
Considerações Finais	10
Referências	12

Introdução

O TDA7000 é um circuito integrado para rádios portáteis mono (1 canal de áudio) FM, onde menor quantidade de componentes é importante (pequenas dimensões e baixos custos) [4]. Um sistema de recepção, tendo como principal componente o circuito integrado (CI) TDA7000, com mixer, oscilador, amplificadores em frequência intermediária (Intermediate Frequency - IF), demodulador e funções squelch (silenciador de áudio) [5]. Quanto à nomenclatura identifica-se que o prefixo TDA do *part number* se refere a CIs produzidos pela Philips, Motorola ou Thomson, já o valor sufixo é de numeração própria dos fabricantes [8].

Observa-se que rádios FM operam na região de frequências VHF (Very High Frequency), mais especificamente na faixa entre 88MHz e 108MHz, logo o projeto deve ser desenhado para operar adequadamente nesta faixa.

Blocos Construtivos

Em geral, receptores que utilizam o TDA7000 seguem o padrão de diagrama de blocos conforme datasheet Philips disponível em [4], havendo maiores variações de projeto na saída de áudio ou oscilador.

O diagrama de blocos interno ao TDA7000 é apresentado na Figura 1.

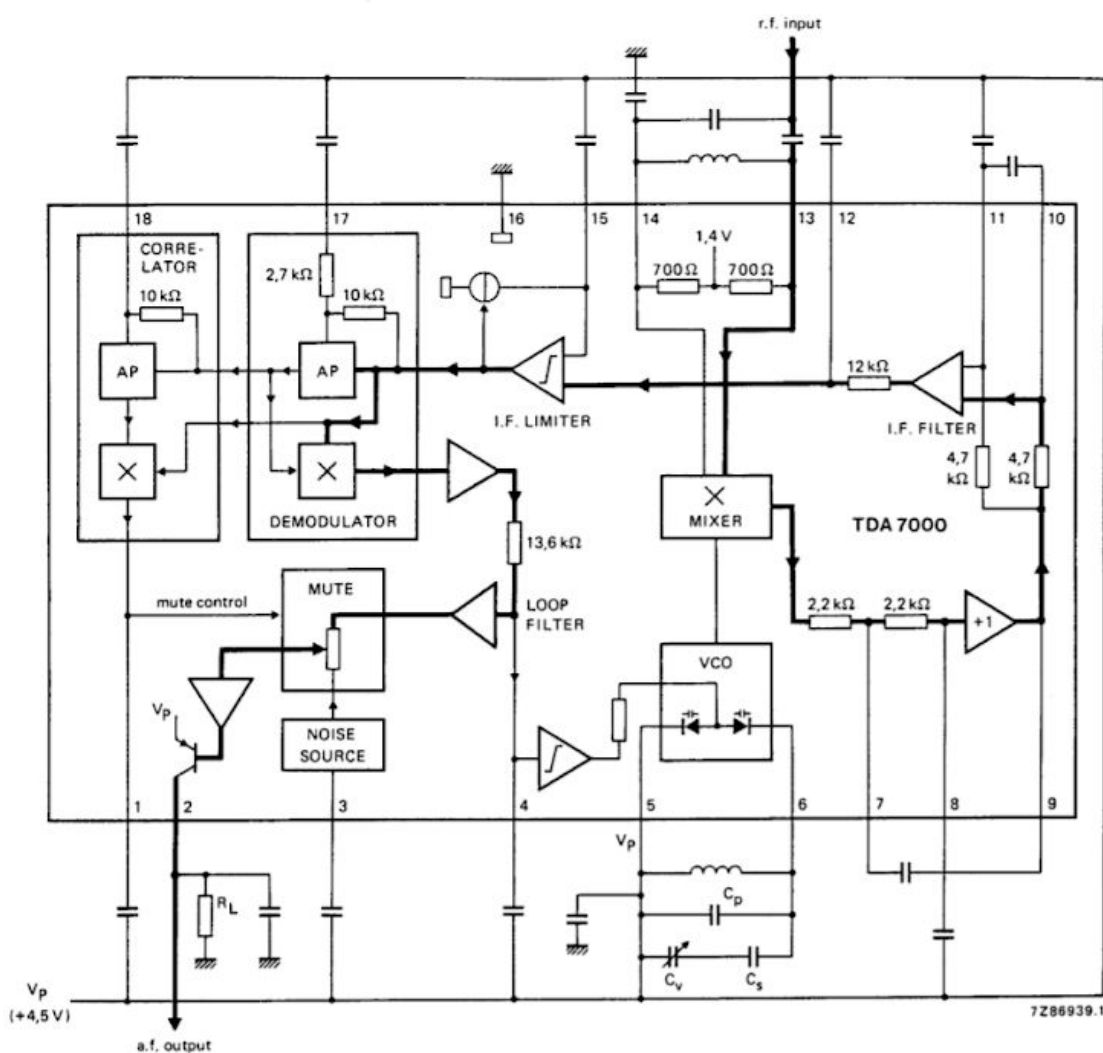


Figura 1 - Diagrama de blocos TDA7000 [4]

Entrada RF

O sinal de RF captado pela antena pode se situar na faixa de 1,5MHz a 110 MHz, claramente se inserindo no requisito de faixa FM. A sensibilidade de tensão para recepção é informada como 1,5 μ V (com sistema de *mute* desabilitado e impedância de fonte 75 Ω). O sinal captado é entrada para um receptor super-heteródino de Armstrong [9]. Dentre seus blocos construtivos estão:

- Filtro RF, passa-faixa/passa-banda (Band Pass Filter - BPF), para se reduzir amplitude de sinais indesejados adjacentes no espectro VHF, como difusão/broadcast de TV ($f < 88\text{MHz}$) ou radionavegação aeronáutica ($f > 108\text{MHz}$);
- Amplificador RF, oportunamente, amplificador de baixo ruído (Low Noise Amplifier - LNA), tendo estes primeiros blocos do sistema como aprimoradores da relação sinal ruído (Signal to Noise Ratio - SNR), havendo, igualmente, casamento/adaptação de impedância da antena com a entrada do receptor;
- Mixer, com multiplicação de tal sinal filtrado e amplificado pelo sinal de oscilação local (numa frequência f_o), tendo como resultante um sinal com harmônicas relativas à composição aditiva e subtrativa de frequências do sinal RF e do oscilador;
- Filtro de imagem, de maneira a se reduzir impacto de frequências de imagem geradas, aprimorando a IMRR (Image Response Rejection Ratio);
- Oscilador local construído com circuito tank LC em conjunto com VCO (Voltage Controlled Oscillator);
- Estágio de IF, com frequência intermediária em 70kHz, filtro e limitador IF para compressão da faixa dinâmica em amplitude do sinal;

Após tais blocos ainda há o bloco detector com demodulador e correlator, os quais extraem a informação desejável do sinal; tão como filtros e amplificadores de saída em frequência de áudio (Audio Frequency - AF). Verifica-se que a IF utilizada é considerada usualmente baixa pela literatura, necessitando atenção ao impacto por conta de ruído flicker ($1/f$), mais predominante em menores frequências.

Há, inclusivamente, um bloco gerador de ruído, que acopla-se ao bloco Mute, de maneira que mesmo com ajuste do usuário no *dial* fora de estação da rádio, o sistema emite um aviso sonoro (ruído) como indicativo. Tal recurso pode ser desativado simplesmente se retirando o capacitor externo do pino 3. Ainda no bloco Mute, o controle de mudo pode ser desativado a partir de injeção no pino 1 de uma corrente de aproximadamente 20 μA , o que pode ser realizado ao se substituir o capacitor externo conforme indicado deste pino, por um resistor. Observa-se que o sistema de Mute acaba por afetar a sensibilidade do receptor, elevando o nível de tensão para 6 μV .

A Figura 2 apresenta um diagrama de blocos para receptor FM utilizando o TDA7000 como dispositivo principal do sistema.

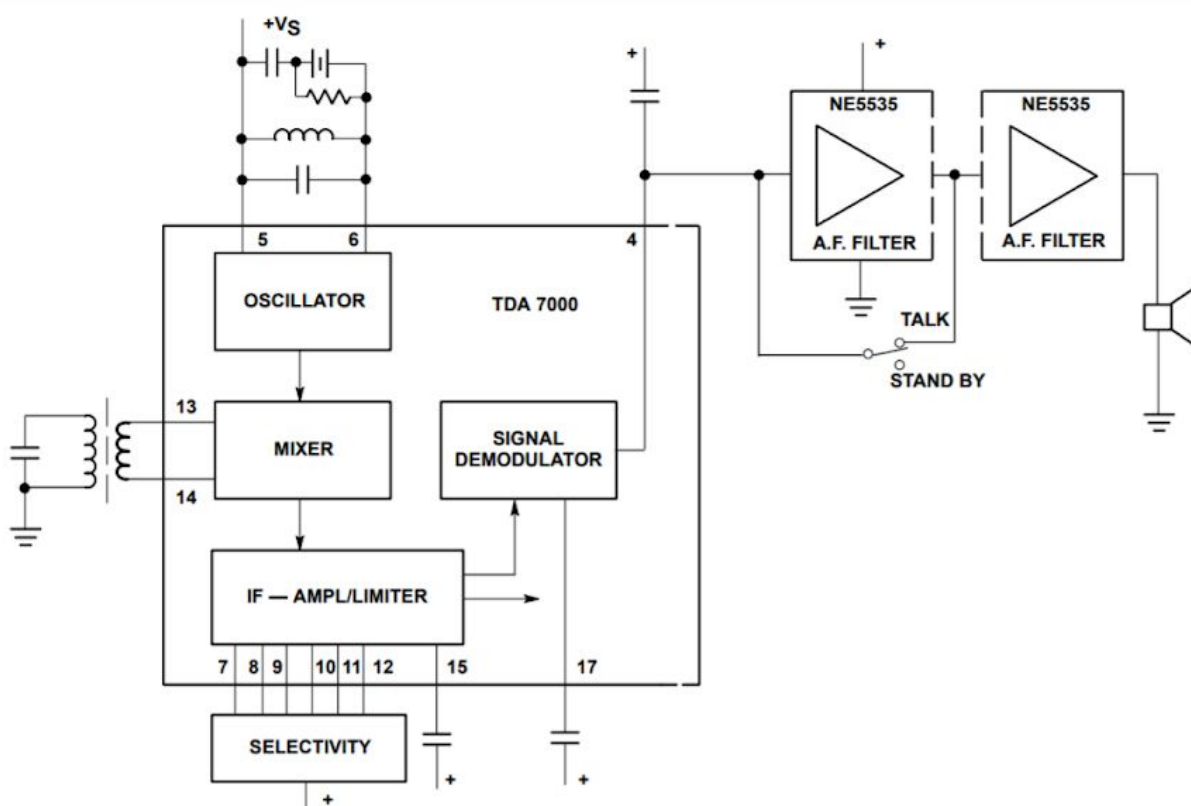


Figura 2 - Diagrama em blocos de receptor FM com TDA7000 [5]

Feedback

O sistema possui malha fechada com ganho automático de controle (Automatic Gain Control - AGC), de forma tal a se controlar o nível de tensão no sinal de saída, mesmo com flutuações do sinal RF à entrada. Após o sinal processado no demodulador há filtro de loop e limitador para o VCO, controlando a oscilação e fechando o sistema FLL (Frequency-Locked Loop), o qual possui princípio semelhante a PLLs (Phase-Locked Loops). Tal FLL controla a frequência do sinal enviado ao mixer, embora não necessariamente sua fase como é realizado em PLLs.

Estágio de saída

Para o estágio de *output* temos amplificadores de saída/potência. No exemplo da nota de aplicação [5] utiliza-se no estágio de saída, o ampop NE5535, com característica destaque sendo seu alto valor de slew rate ($15\text{V}/\mu\text{s}$) em relação a amplificadores mais comuns, como LM741 (com $\text{SR} = 0,5\text{ V}/\mu\text{s}$). O elemento de saída deve conseguir operar na faixa de frequências de áudio captadas pelo ouvido humano, isto é, de 20Hz a 20kHz, aproximadamente. Verifica-se que, tendo a alimentação típica em 4,5V e consequente máximo valor de pico do sinal de saída, o slew rate mínimo seria cerca de $0,56\text{V}/\mu\text{s}$ ($\text{SR} = 2\pi fV_p$, com f sendo o limiar da audição).

Substitutivamente, pode-se utilizar CIs como o LM386, TBA820M ou outros amplificadores de áudio de baixo custo que operem preferencialmente com baixo consumo e resposta linear adequada em AF.

Em termos de linearidade, em geral, os fabricantes apresentam a métrica de distorção total harmônica (Total Harmonic Distortion - THD) sobre outras como relativas à análise de por produtos de intermodulação, modulação cruzada, dessensibilização do ganho, etc¹. De acordo com ensaio do fabricante, a folha de

¹ Quanto à “qualidade do áudio” métricas de psicoacústica (como PTHD - Perceived THD), baseadas no padrão PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality), também podem ser de interesse na avaliação final de desempenho do projeto [10].

dados da Philips apresenta THD tipicamente igual a 0,7% na condição quando o pico de desvio de frequência de modulação $\Delta f = \pm 22,5 \text{ kHz}$ [4].

Em termos de relação sinal-ruído, o fabricante apresenta SNR típica de 60dB, a qual pode ser aprimorada com filtros seletivos em RF (pré-estágios) ou AF (estágio de saída).

Considerações Finais

Atualmente o TDA7000 apresenta uma família de ramificações, tendo, por exemplo, o TDA7021T, SMD o qual é compatível com 2 canais de saída (estéreo), TDA7088T, o qual trabalha com menor tensão de alimentação (3 V), além de demais CIs incorporadores.

O TDA7000 pode ter desempenho aprimorado com uso de:

- Pré-estágios de RF para aperfeiçoar figura de ruído, exemplo em [5] com pré-estágio RF em 46MHz resultando $NF=7\text{dB}$;
- Maior ordem nos filtros de frequência intermediária no receptor super-heteródino, de modo a melhorar seletividade;

Em casos de limitações de alimentação disponível, é possível utilizar reguladores de tensão como LM7805. Nota-se, de semelhante importância, que deve ser evitado o uso excessivo de capacitores eletrolíticos, de modo a se reduzir área total final do sistema. Além disso o uso de sistema de *mute* afeta a sensibilidade do receptor (indo de $1,5\mu\text{V}$ a $6\mu\text{V}$), o que pode ser ajustado ao se utilizar melhores antenas. Estes recursos podem melhorar desempenho, embora aumentem a complexidade e custo do projeto.

Outras métricas de interesse no projeto podem ser²:

- Ruído térmico: com mitigação ao se reduzir valores de resistências e consequente influência de ruído Johnson-Nyquist no sistema);
- Eficiência: com menor consumo de circuitos agregados, em pré-estágio ou estágio de saída, por exemplo;
- Estabilidade: buscando adaptação de impedância correta, oportunamente de baixa ordem, à entrada e saída;

² Isto para o processamento analógico do sinal. Já em processamento digital de sinais de áudio nos receptores, métricas como taxa de amostragem, *jitter* e profundidade de bits se destacam.

- Common-mode rejection ratio (CMRR), crosstalk, etc.

Pelo contexto histórico, identifica-se que o advento do TDA7000 após a década de 80 possibilitou a recepção de sinais FM em uma ampla gama de dispositivos móveis, como relógios despertadores, players de música, entre outros rádios de pequeno porte, por, principalmente, dispensar a necessidade de componentes volumosos, como transformadores entre estágios. Assim, tal CI, derivado a partir de pesquisa e desenvolvimento dos engenheiros Dieter Kasperkovitz e Harm van Rumpt, tão como do físico Peter Langendam, com patente em 1977, tornou fácil e barata a recepção de rádio FM [6]. Até 2018, estima-se que mais de 7 bilhões de TDA7000 e seus variantes foram vendidos. Pelo seu mérito, a IEEE o posiciona no Hall da Fama dos Chips, na categoria Wireless [7].

Referências

- [1] Notas de Aula EEL7319 - Circuitos RF
- [2] STEER, Michael. **MICROWAVE AND RF DESIGN NETWORKS Vol. 4.** NC State University, 2019
- [3] STEER, Michael. **MICROWAVE AND RF DESIGN NETWORKS Vol. 5.** NC State University, 2019
- [4] PHILIPS. **TDA7000 Datasheet.** Disponível em: <https://www.changpuak.ch/electronics/dhe/TDA7000.pdf>. Acesso em 30 nov 2020.
- [5] MICROJPM. **The TDA7000 FM Receiver.** Disponível em: <http://files.microjpm.webnode.com/200002075-7a6b27b64f/TDA7000%20FM%20Receiver.pdf>. Acesso em 02 dez 2020.
- [6] J. Pepitone, "Radio free everywhere [Resources]," in IEEE Spectrum, vol. 55, no. 7, pp. 20-20, July 2018, doi: 10.1109/MSPEC.2018.8389180.
- [7] IEEE SPECTRUM. **Chip Hall of Fame: Philips TDA7000 FM Receiver.** Disponível em: [https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/chip-hall-of-fame-philips-ta7000-fm-receiver](https://spectrum.ieee.org/tech-history/silicon-revolution/chip-hall-of-fame-philips-tda7000-fm-receiver). Acesso em 02 dez 2020.
- [8] BRAGA, Newton C. **Prefixos usados pelos fabricantes de componentes.** Disponível em: <https://www.newtoncbraga.com.br/index.php/almanaque-tecnologico/205-p/164-prefixos-usados-pelos-fabricantes-de-componentes>. Acesso em 03 dez 2020.

[9] Armstrong, E. H. (1924). The Super-Heterodyne-Its Origin, Development, and Some Recent Improvements. Proceedings of the IRE, 12(5), 539–552. doi:10.1109/jrproc.1924.219990

[10] TEMME, Steve; BRUNET, Pascal; QARABAQI, Parastoo. Measurement of Harmonic Distortion Audibility Using a Simplified Psychoacoustic Model-Updated. In: Audio Engineering Society Conference: 51st International Conference: Loudspeakers and Headphones. Audio Engineering Society, 2013.