

AMPLIFICADORES DE MICRO-ONDAS

PSI 5897

Amplificadores de Micro-ondas a Transistor

Profa. Fatima Salete Correra

e-mail: fcorrera@usp.br

Objetivos

- Estudar e aplicar teoria e técnicas de projeto de amplificadores de micro-ondas a transistor
 - Método de Projeto
 - amplificadores de máximo ganho
 - parâmetros de espalhamento do transistor
 - simulação computacional linear.
 - Condições de projeto
 - amplificadores de baixo ruído
 - amplificadores de potência
 - Considerações
 - amplificadores de banda larga
 - amplificadores balanceados
 - amplificadores de alta eficiência.

Conteúdo do curso

■ Introdução

- Aplicação de amplificadores em sistemas de micro-ondas
- Tipos de amplificadores.

■ Conceitos básicos

- Parâmetros S
- Transistores de micro-ondas
- Polarização DC de transistores
- Filtros de polarização
- Linha de microfita (microstrip line)
- Redes de casamento de impedância.

Conteúdo do curso

- **Projeto de amplificador de máximo ganho**
 - Ganho de potência
 - Banda de amplificação
 - Critérios de estabilidade
 - Círculos de ganho constante
 - Casamento conjugado de impedância
 - Projeto unilateral e bilateral do amplificador usando parâmetros S do transistor
 - Simulação linear de circuitos de micro-ondas

Conteúdo do curso

- **Projeto de amplificador de baixo ruído**
 - Figura de ruído
 - Temperatura equivalente de ruído
 - Impedância ótima de ruído
 - Casamento de impedância para mínima figura de ruído
 - Figura de ruído em amplificadores multi-estágio – equação de Friis.

Conteúdo do curso

- **Projeto de amplificadores de potência**
 - Comportamento não-linear do transistor
 - Classes de operação – A, B, AB e F
 - Compromisso entre ganho, potência de saída, produtos de intermodulação e eficiência do amplificador.
 - Impedância de carga ótima para máxima potência de saída em amplificadores classe A
 - Otimização de projeto usando simulação não-linear

Conteúdo do curso

- **Considerações adicionais**
 - Amplificadores banda larga
 - Amplificadores de alta-eficiência
 - Amplificadores balanceados
 - Amplificadores multi-estágio.

CAD / Critérios de avaliação

- **Programa a ser utilizado no curso**
 - ADS – Advanced Design System/Keysigth
 - Instruções para baixar e instalar ADS e de como obter a licença → site de PSI5897 do Moodle
- **Atividades de avaliação**
 - Listas de exercícios
 - Projeto de amplificador a transistor
 - Apresentação de seminário sobre o projeto/temas

Bibliografia

- **Microwave Engineering**, David M. Pozar, third edition, John Wiley & Sons, inc., 2005.
- **Microwave Circuit Design, Using Linear and Nonlinear Techniques**, George D.Vendelin, Anthony M. Pavio, Ulrich L. Rohde, John Wiley & Sons, 2005.
- **Design of Amplifiers and Oscillators by the S-parameter method**, George D. Vendelin, John Wiley & Sons, 1982.
- **Foundation for Microwave Engineering**, Robert E. Collin, McGraw Hill 1992.
- **GaAsFET Principles and Technology**, James V. DiLorenzo, Deen D. Khandelwal, Artch House, 1992.
- **High-Power GaAs FET Amplifiers**, John L.B.Walker, Editor, Artech House, 1993.
- **RF Power Amplifiers for Wireless Communications**, Steve C. Cripps, second edition, Artech House, 2006.

Aplicação de amplificadores em sistemas de micro-ondas

- Diagrama básico de sistema de comunicação sem fio

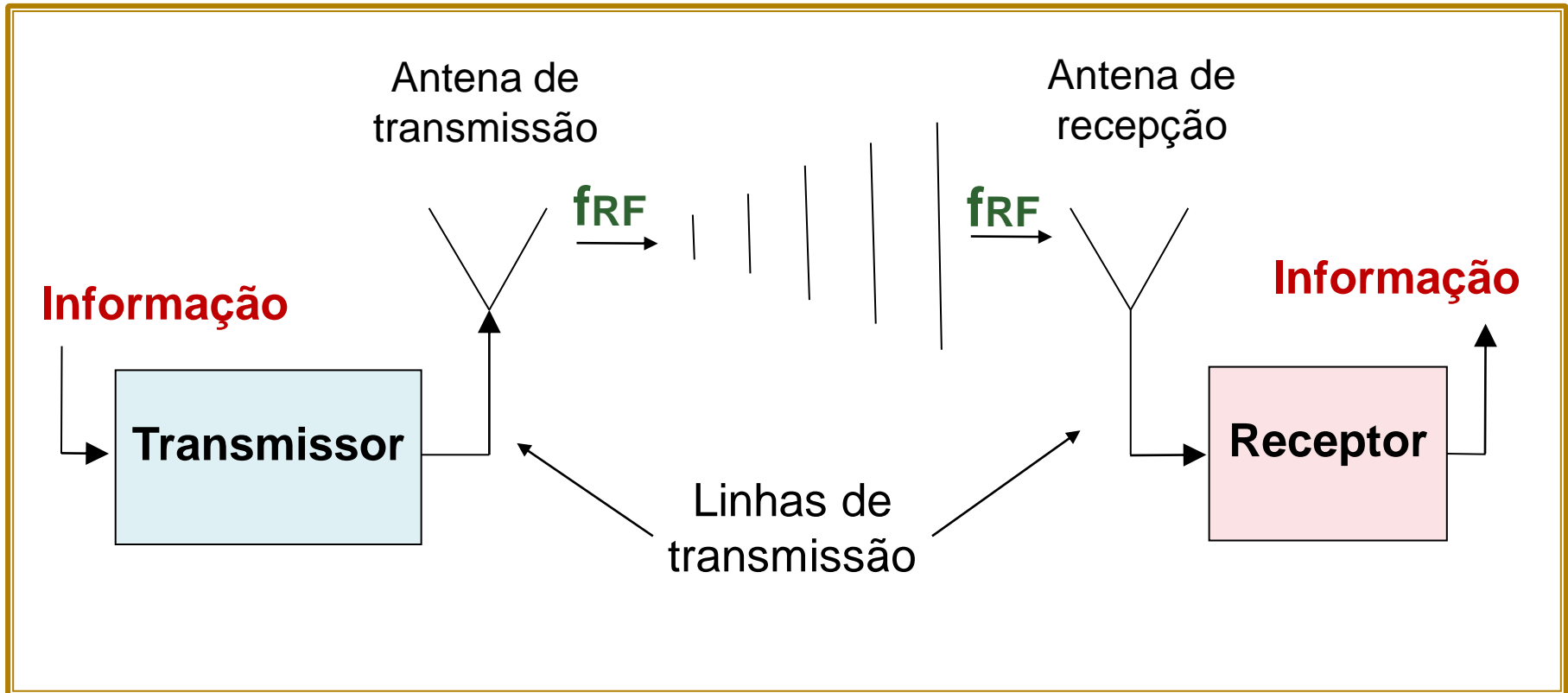


Diagrama simplificado do TRANSMISSOR

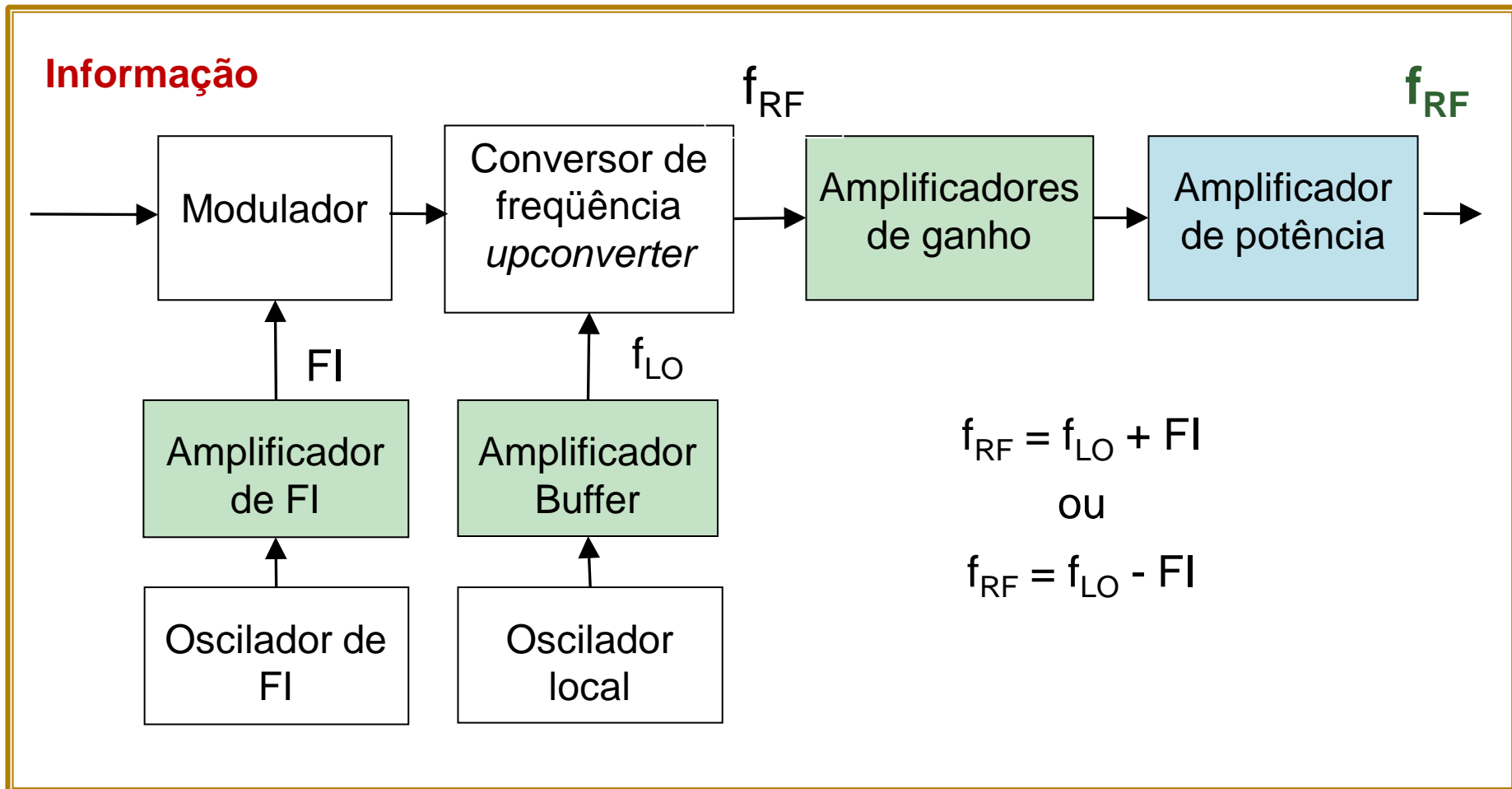
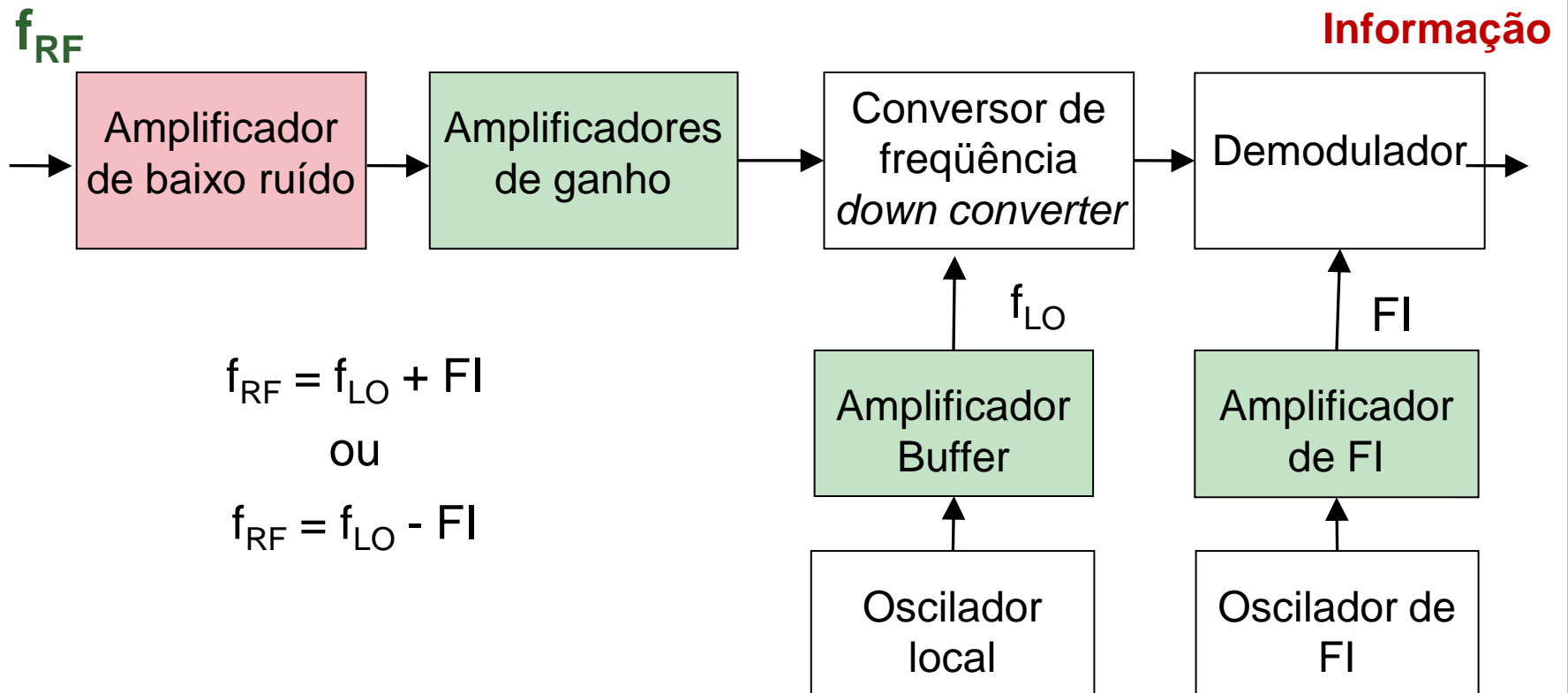


Diagrama simplificado do RECEPTOR



Tipos de amplificadores

	GANHO	FIGURA DE RUÍDO	POTÊNCIA DE SAÍDA
Amplificador de ganho	MÁXIMO	MÉDIO	MÉDIO
Amplificador de baixo ruído	MÉDIO	MÍNIMA	MÉDIO
Amplificador de potência	MÉDIO	MÉDIO	MÁXIMA

Diagrama de Blocos do Amplificador

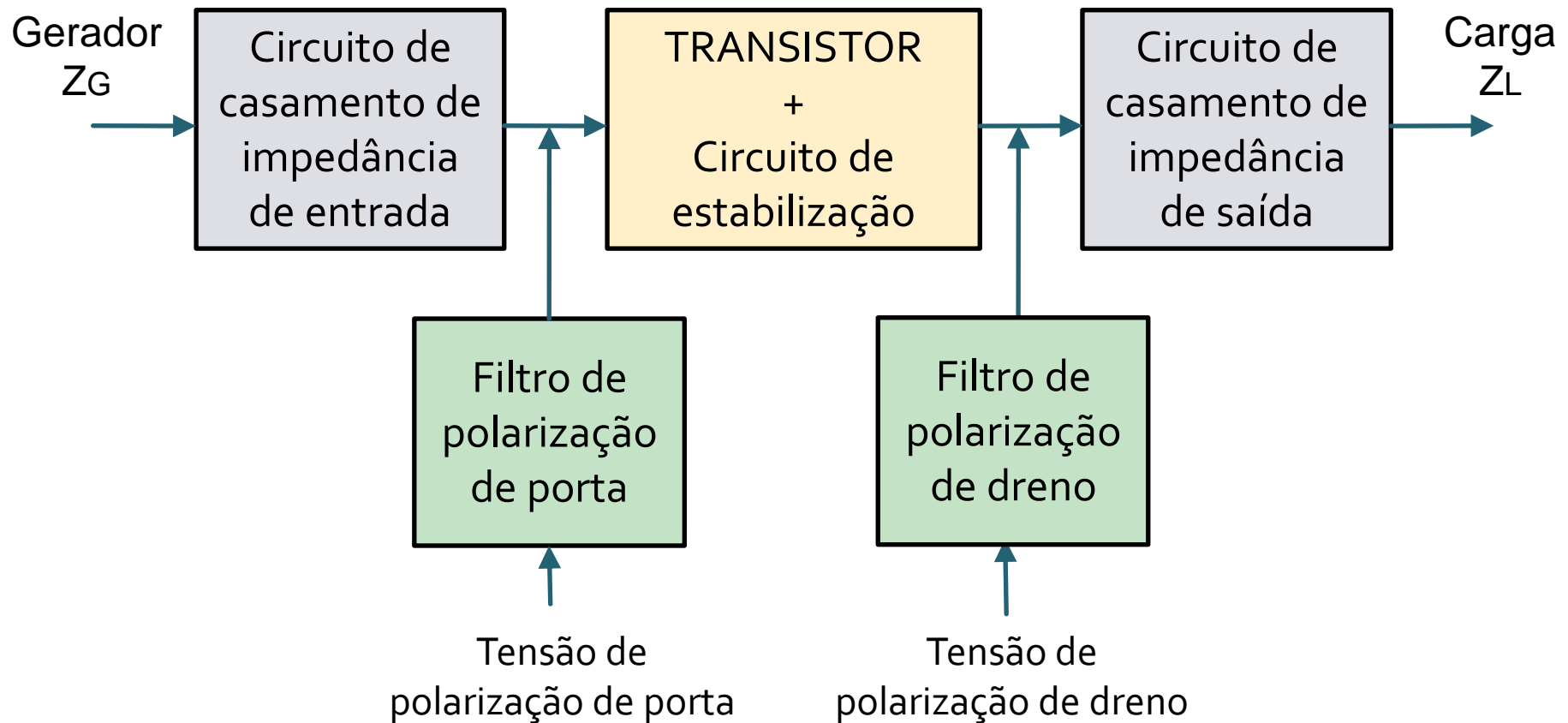


Diagrama de Blocos do Amplificador

- **Etapas do projeto**
 - Especificações do amplificador: faixa de frequência, ganho, figura de ruído, potência de saída, linearidade
 - Escolha do transistor e de seu ponto de polarização, que dependem das especificações
 - Estabilização do transistor, quando necessário
 - Projeto dos filtros de polarização
 - Projeto dos circuitos de casamento de impedância de entrada e de saída
 - Projeto do leiaute do amplificador

Essas etapas usam simulações em CAD de micro-ondas

Diagrama de Blocos do Amplificador

- **Escolha do transistor**

Depende das especificações do amplificador

- Frequência de operação – Ganho – Figura de ruído – Potência de saída

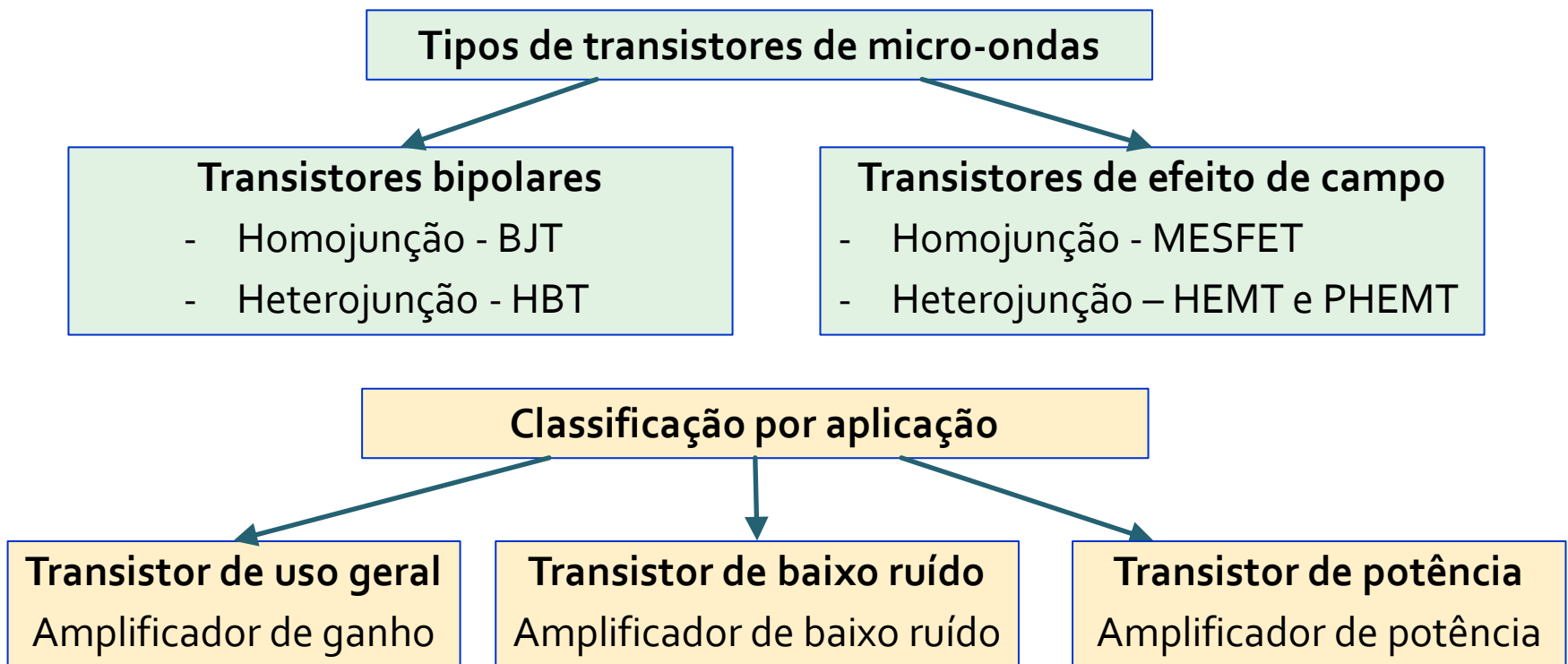
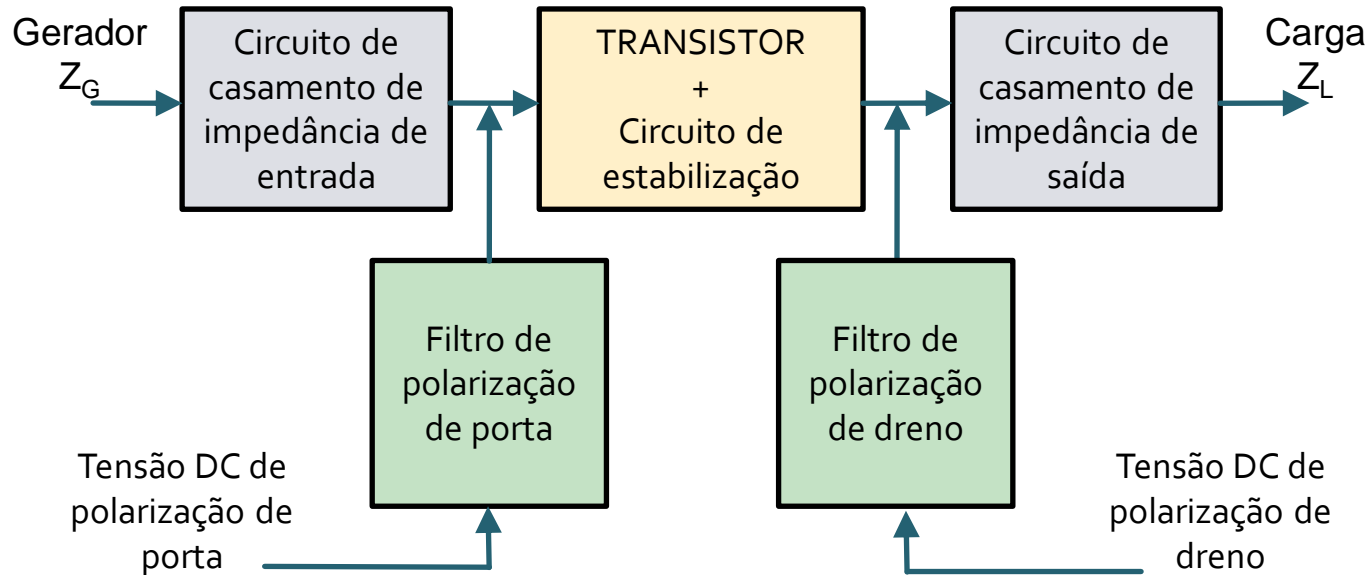


Diagrama de Blocos do Amplificador



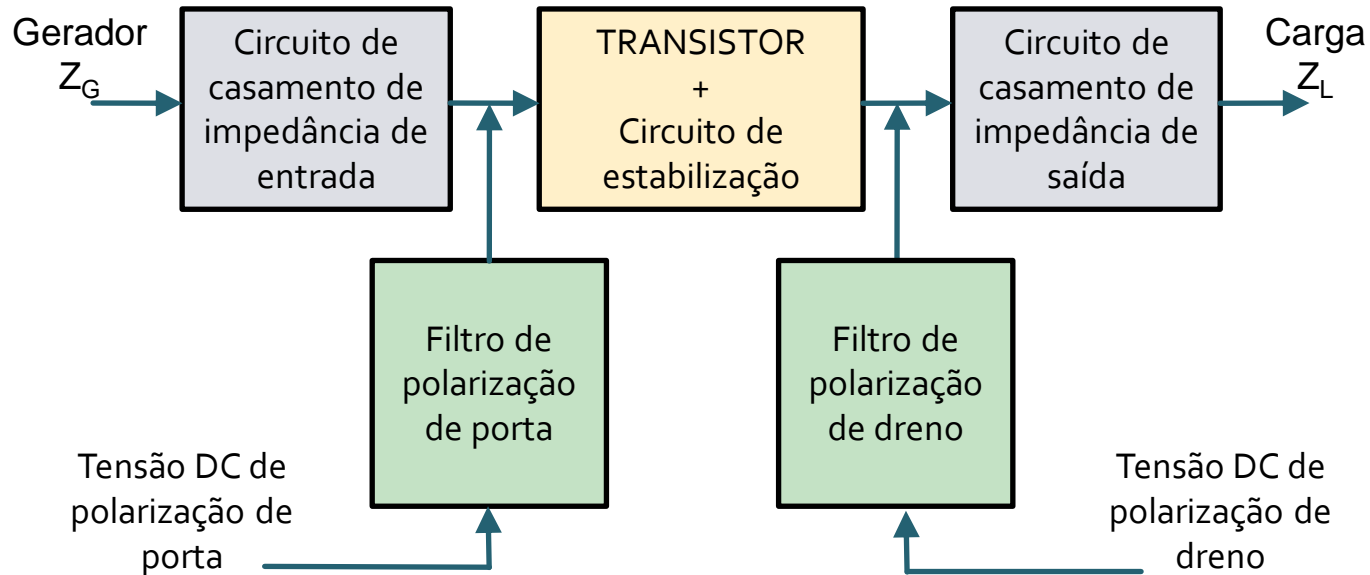
Circuito de estabilização

- Usado com transistores condicionalmente estáveis
- Evitam oscilações indesejadas

Filtros de polarização

- Filtros passa-baixa
- Evitam vazamento do sinal de micro-ondas para os circuitos de polarização DC

Diagrama de Blocos do Amplificador



Circuito de casamento de impedância de entrada

- Transforma a impedância do gerador Z_G
- Na impedância desejada na entrada do transistor

Circuito de casamento de impedância de saída

- Transforma a impedância de carga Z_L
- Na impedância desejada na saída do transistor

Condições de projeto de amplificadores de micro-ondas

		CASAMENTO DE IMPEDÂNCIA	
		Entrada	Saída
Amplificador de ganho		Conjugado com ZG	Conjugado com ZL
Amplificador de baixo ruído		Impedância de Mínimo Ruído	Conjugado com ZL
Amplificador de potência		Conjugado com ZG	Impedância de Máxima Potência

Fabricação de amplificadores de micro-ondas

■ Tecnologias de Micro-ondas

- Tecnologia de guia de ondas
- Tecnologia coaxial
- Tecnologia planar ***

■ Tecnologia planar

- A mais empregada em amplificadores de micro-ondas a transistor
- MIC – Circuito Integrado de micro-ondas
- MMIC – Circuito Integrado monolítico de micro-ondas

Tecnologia planar – MIC

- **MIC – Circuito Integrado de Micro-ondas**
 - Substrato
 - Cerâmico – ex. alumina, recoberta com Ouro
 - Flexível – ex. fibra de vidro, recoberto com Cobre
 - Componentes gravados no substrato
 - Linhas de transmissão planares – microlinhas, linhas coplanares, etc...
 - Indutores planares (em substratos cerâmicos)
 - Resistores em filme (em substratos cerâmicos)
 - Componentes montados sobre o substrato - chip ou SMD
 - Resistores
 - Indutores
 - Capacitores
 - Transistores
 - Diodos

Amplificador de Potência 5.9 a 6.4 GHz, 10 W

Isolador de
entrada

4 estágios de amplificação
de ganho

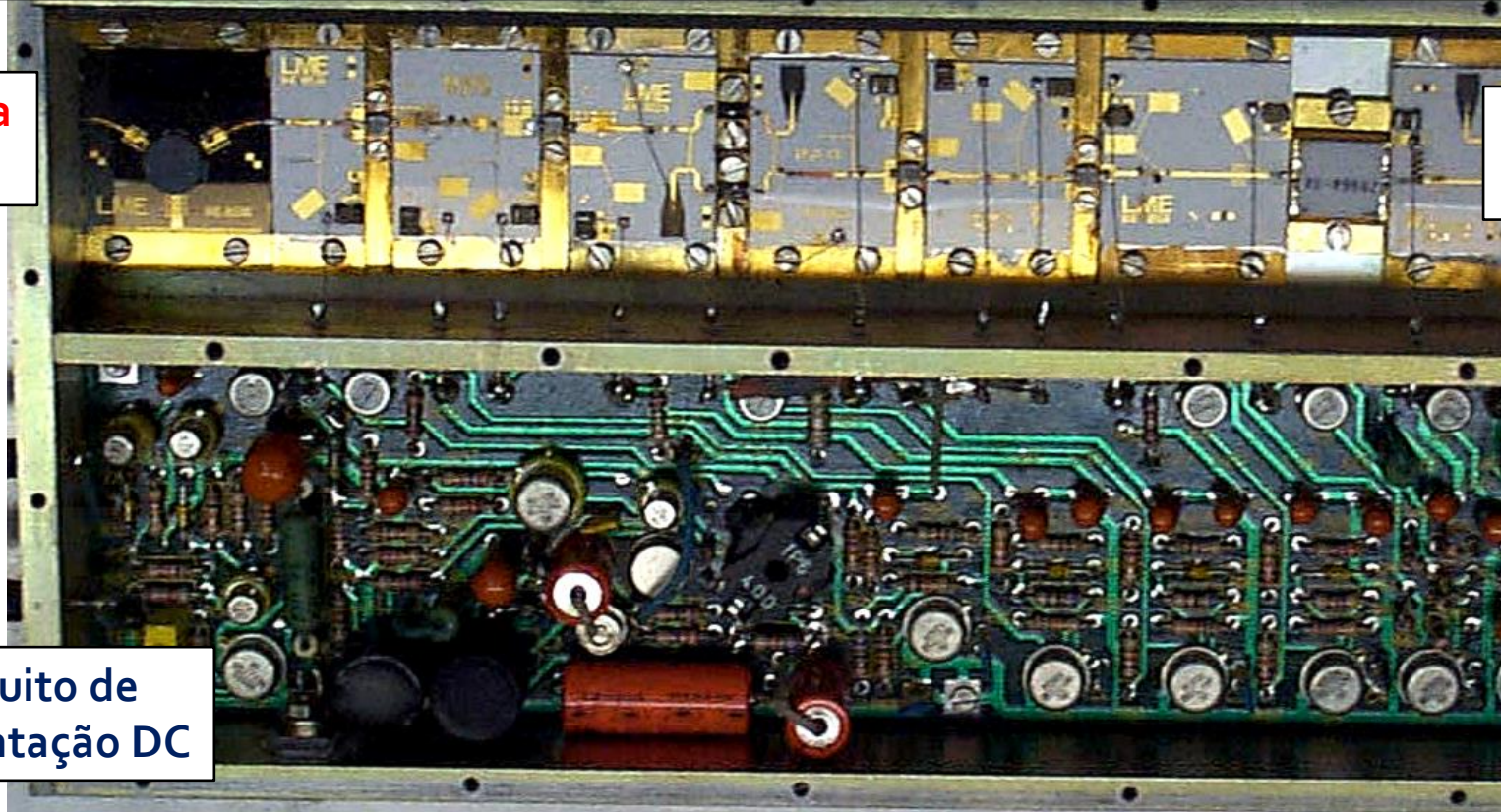
Amplifica-
dor *driver*

Amplificador
de potência

Entrada
RF

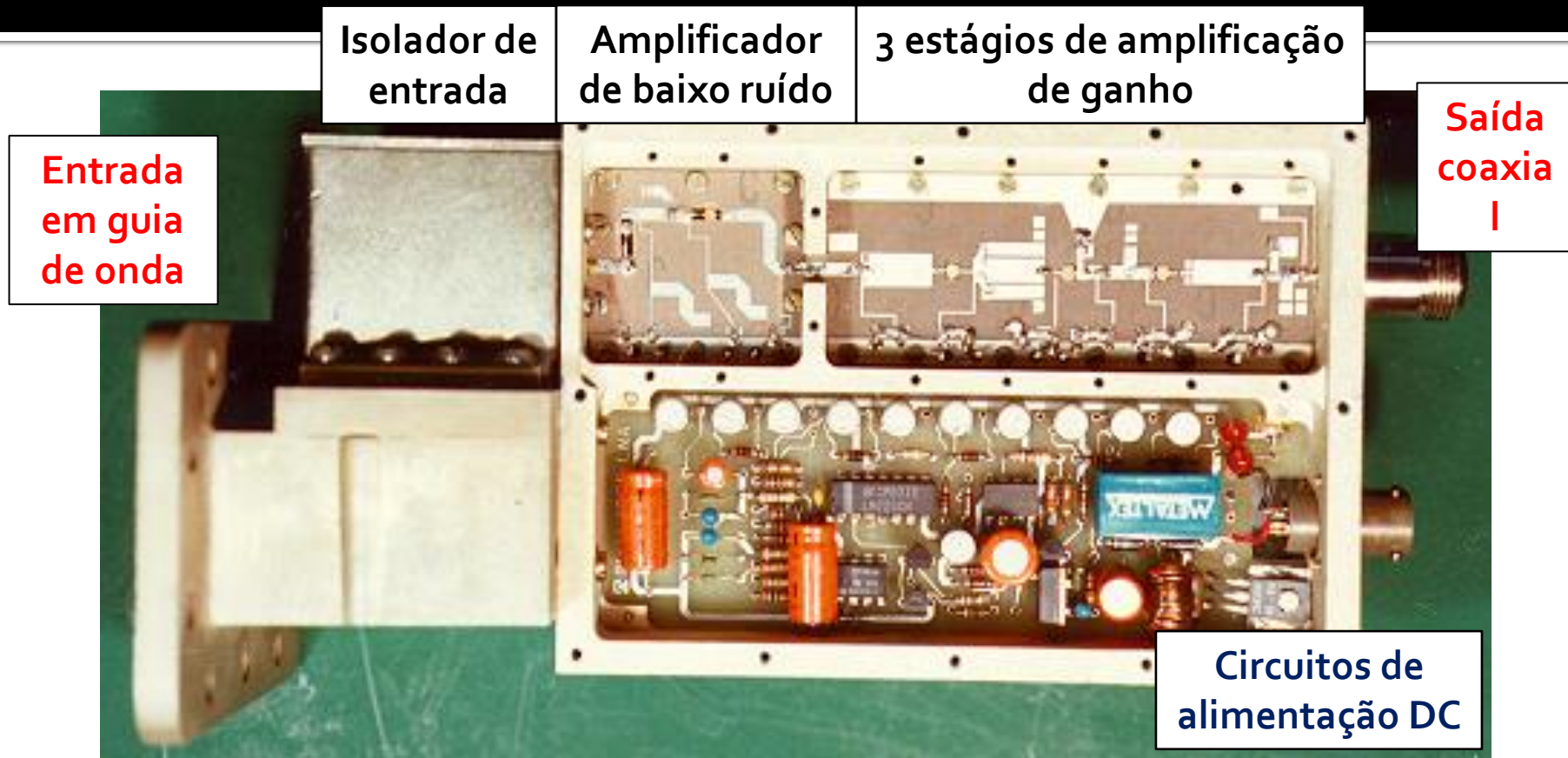
Saída
RF

Circuito de
alimentação DC



- Tecnologia MIC – Circuito Integrado de micro-ondas
- Substrato cerâmico: alumina

Amplificador de Baixo Ruído – 3,7 a 4,2 GHz



- Tecnologia MIC – Circuito Integrado de micro-ondas
- Substrato flexível

Tecnologia planar -MMIC

MMIC – Circuito Integrado de Monolítico de micro-ondas

■ Substrato

■ Semicondutor

- GaAs – Arseneto de Gálio
- InP – Fosfeto de índio

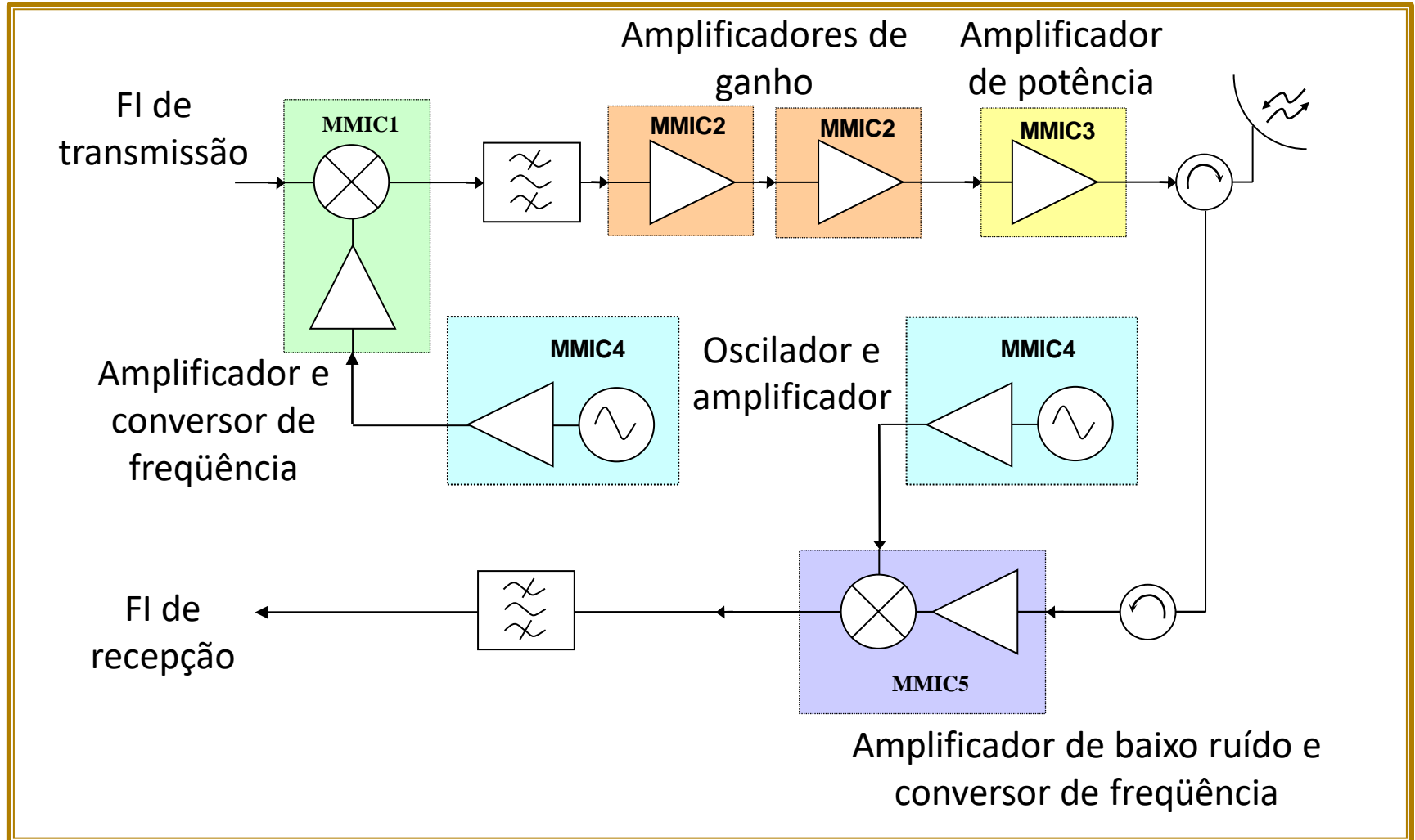
■ Camadas metálicas

- Ouro Alumínio, p. ex.

■ Componentes construídos no substrato

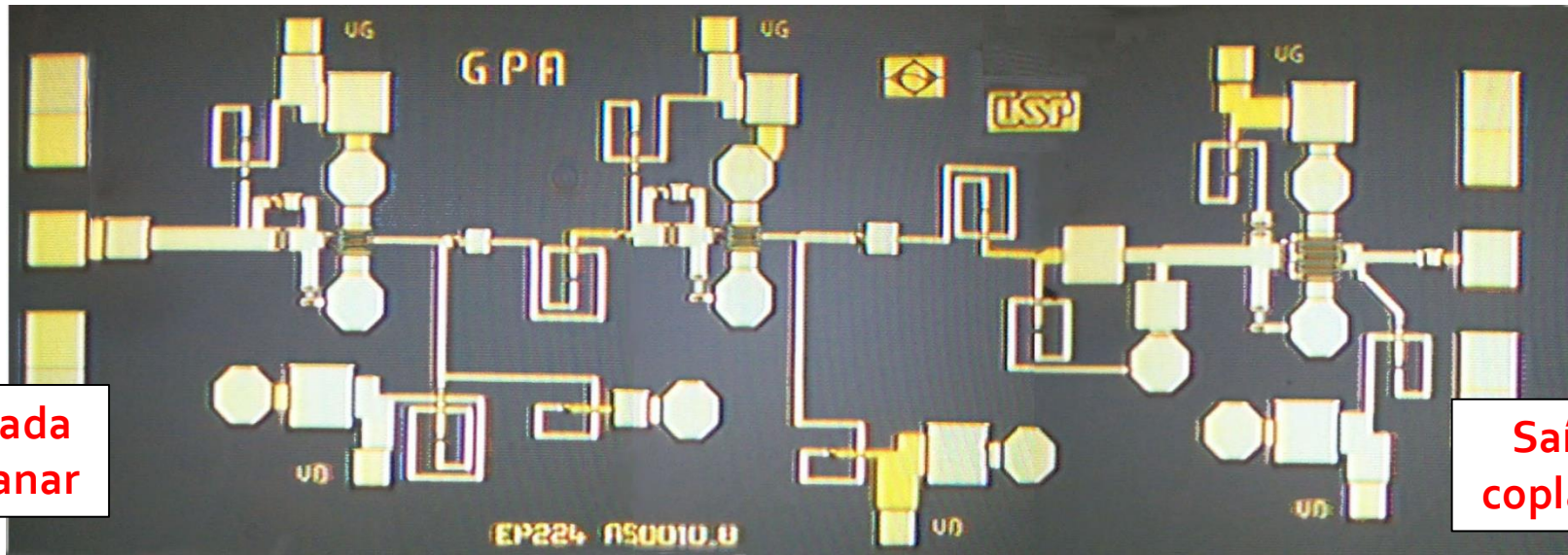
- Linhas de transmissão planares
 - linhas de microfita, coplanares, etc...
- Indutores planares
- Capacitores
- Resistores em filme
- Resistores difundidos
- Transistores
- Diodos

Diagrama de Blocos de Transceptor de micro-ondas usando MMICs



Amplificador de Ganho – 17 a 24 GHz

3 estágios de amplificação de ganho



Entrada
coplanar

Saída
coplanar

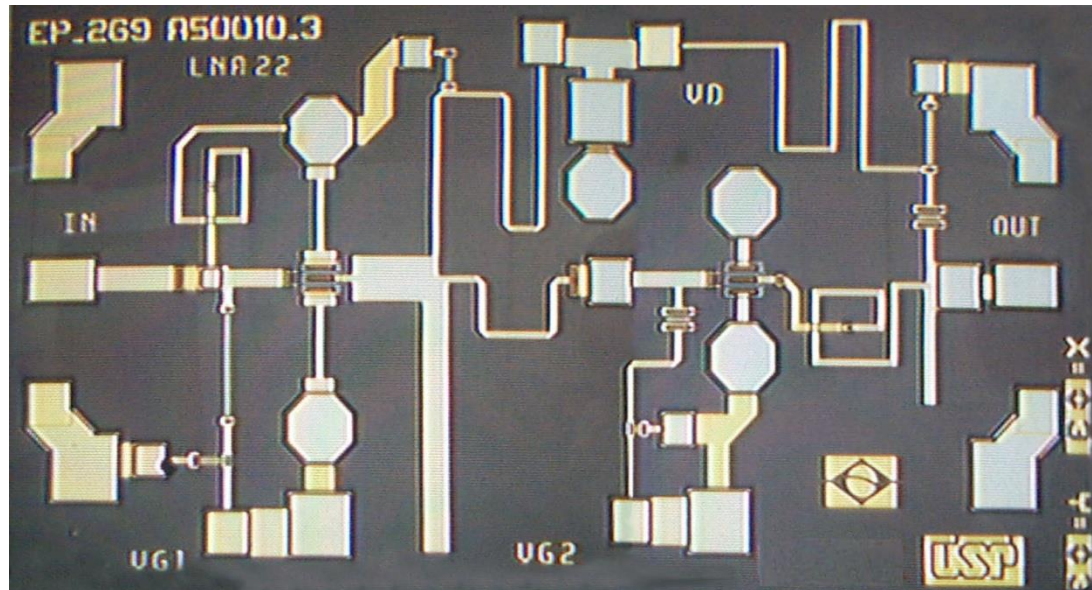
- Tecnologia MMIC – Circuito Integrado Monolítico de micro-ondas
- Substrato semicondutor: Arseneto de Gálio
- PHEMT com comprimento de porta de $0.2 \mu\text{m}$
- Área: $3 \times 1 \text{ mm}^2$
- Ganho: 23 dB e $P@1\text{dB}$: 17 dBm

Amplificador de Baixo Ruído – 17 a 24 GHz

1 estágio de baixo ruído

1 estágio de ganho

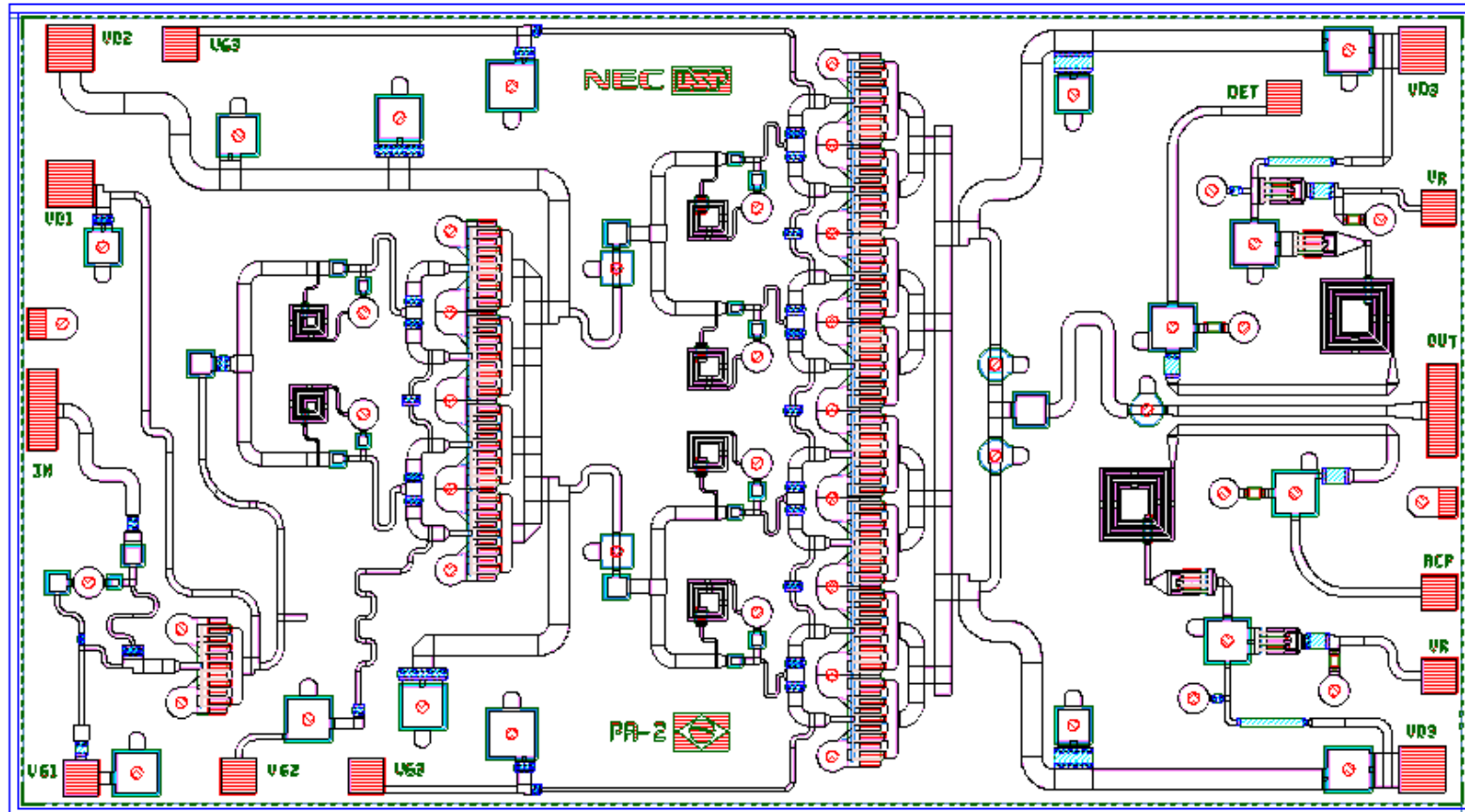
Entrada
coplanar



Saída
coplanar

- Tecnologia MMIC – Circuito Integrado Monolítico de micro-ondas
- Substrato semiconductor: Arseneto de Gálio
- PHEMT com comprimento de porta de $0.2 \mu\text{m}$
- Área: $1,8 \times 1 \text{ mm}^2$
- Figura de Ruído: 2,8 dB e Ganho: 18 dB

Amplificador de potência 17 a 24 GHz, com detector de potência integrado



Entrada
coplanar

Estágio
de ganho

Estágio
"driver"

Estágio
de potência

Detector de
potência

Saída
coplanar

Área : 6,3 mm x 3,5 mm