

# Микроталасна мерења -13E074MM-

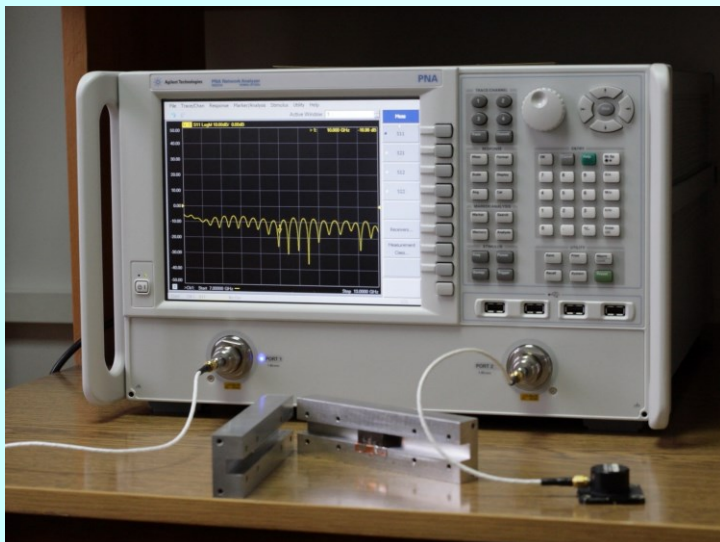
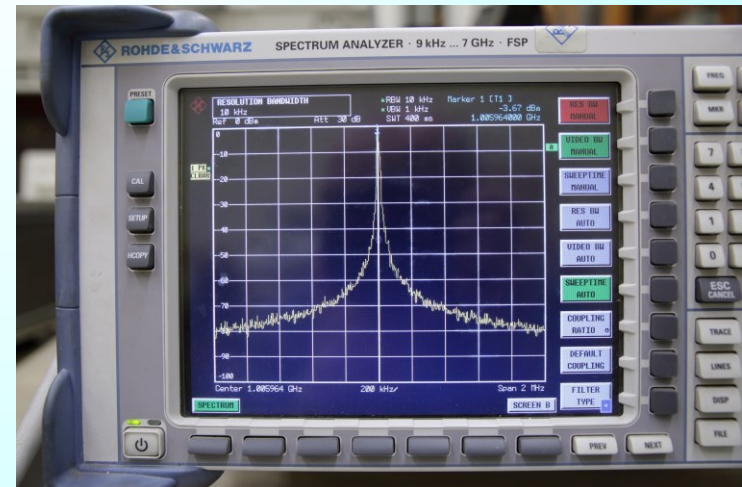
Миодраг Тасић  
[tasic@etf.bg.ac.rs](mailto:tasic@etf.bg.ac.rs)

# RF / микроталасне учестаности / милиметарски таласи

- Енглески назив ове области је **RF and Microwave measurements**
- Од 300 MHz до 300 GHz (оријентационо)
- У литератури се део микроталасног фреквенцијског опсега до 3 GHz често назива RF (радио фреквенцијским) опсегом
- Таласна дужина у вакууму:  $\lambda = c_0 / f$
- Преко 30 GHz таласна дужина у вакууму је реда милиметара

# Шта се мери?

- Мерењем карактеришемо микроталасни **сигнал** или **склоп**
- Сигнал обично меримо у временском или фреквенцијском домену



- Склоп се најчешће описује S-параметрима, које меримо анализатором мрежа

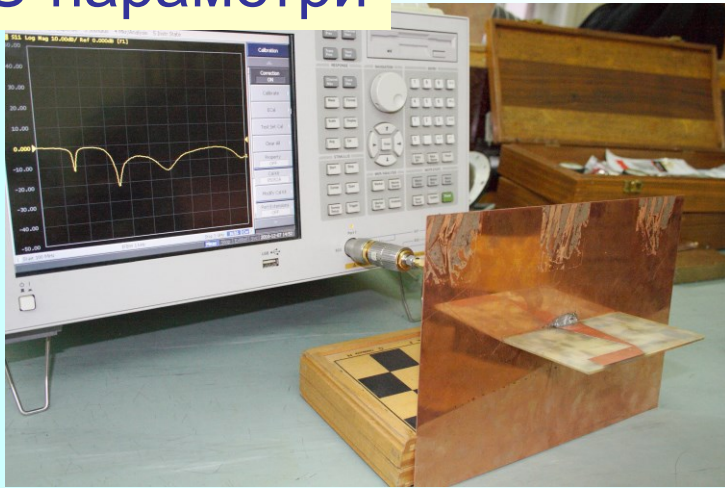
# Где се и зашто мери?

- У фази развоја (R&D)
- При контроли квалитета
- При праћењу процеса (monitoring)
- У лабораторијама



# Основне величине које се мере

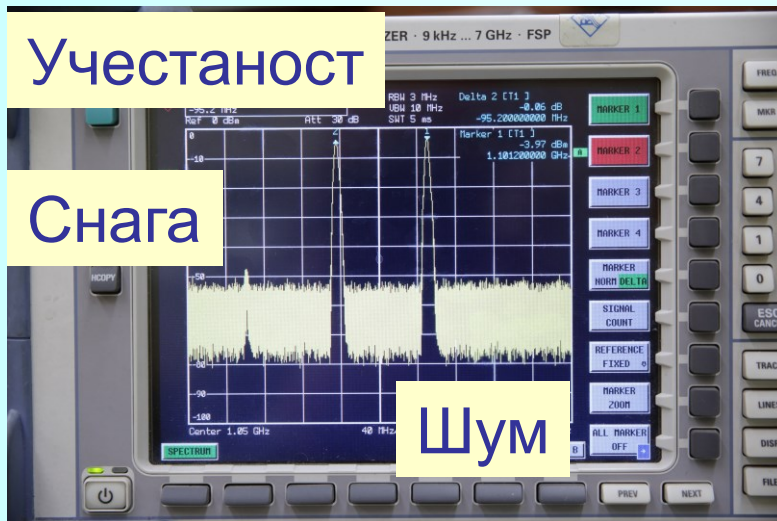
S-параметри



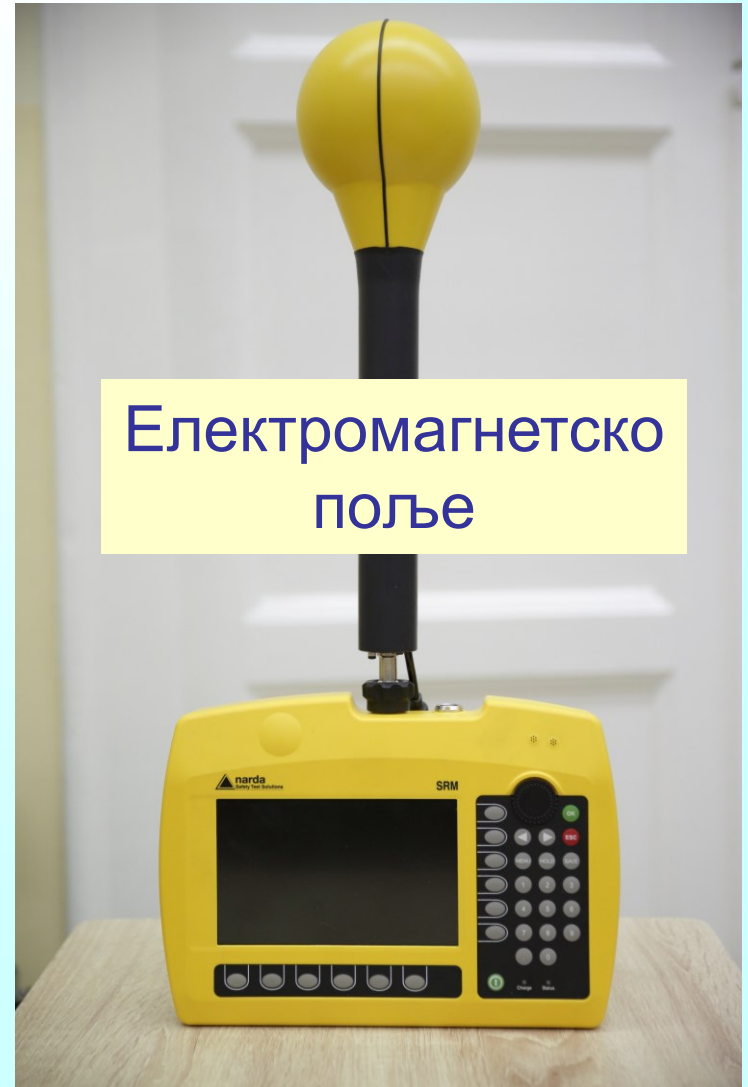
Учестаност

Снага

Шум



Електромагнетско  
поље



# Програм (1, анализатор мрежа)

- S-параметри
- Блок шема анализатора мрежа
- Грешке приликом мерења S-параметара и њихово отклањање (калибрација)
- Мерење S-параметара филтара и појачавача
- Мерење S-параметара склопова у кућишту

# Програм (2, анализатор спектра)

- Спектар сигнала
- Блок шема анализатора спектра
- Грешке приликом мерења спектра сигнала
- Мерење хармоника и интермодулационих продуката
- Мерење појачавача у нелинеарном режиму



# Програм (3, остало)

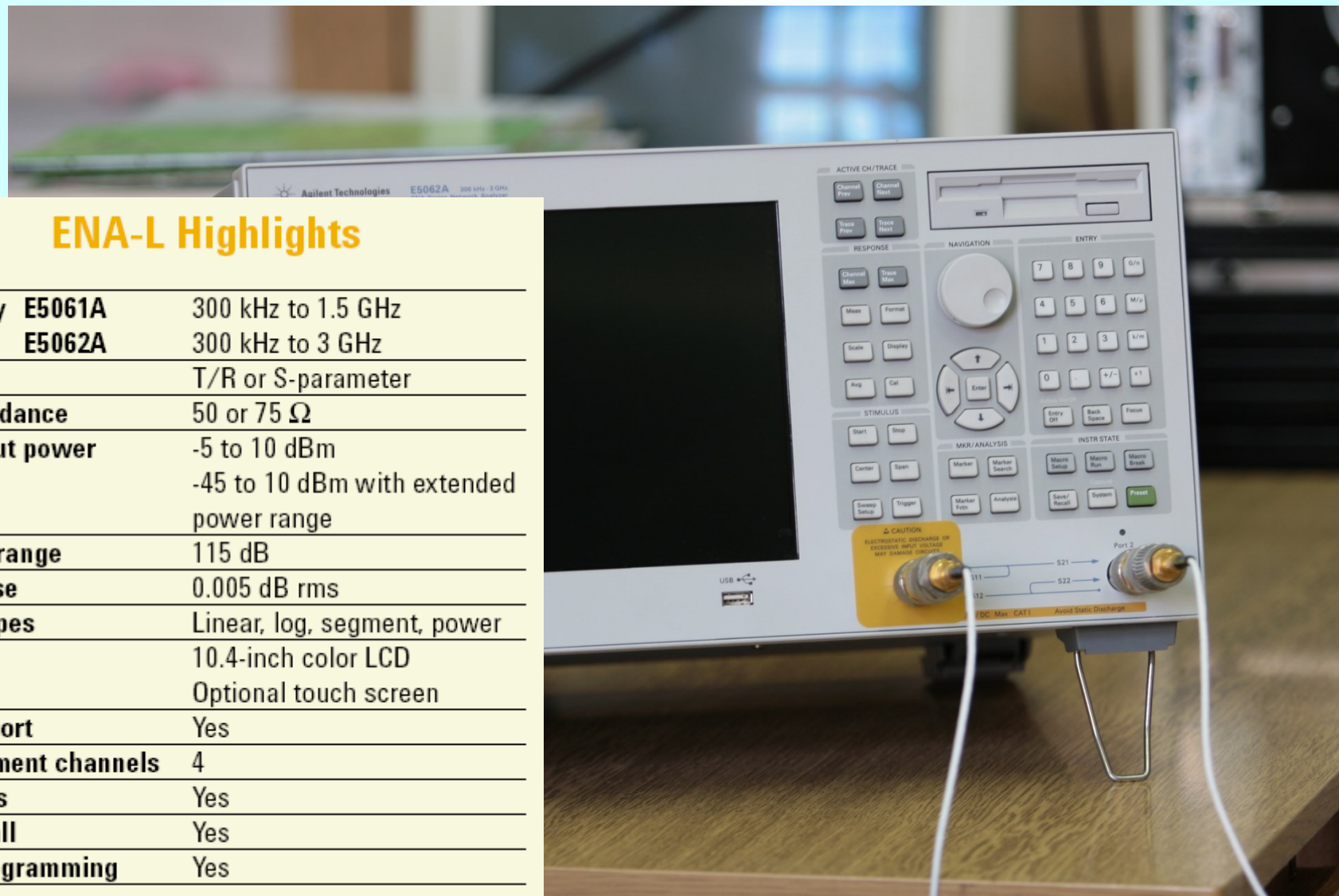
- Мерење фактора шума
- Мерење снаге
- Мерење учестаности
- TRL калибрација
- TDR / TDT
- Антенска мерења



# Наши анализатори мрежа

## ENA-L Highlights

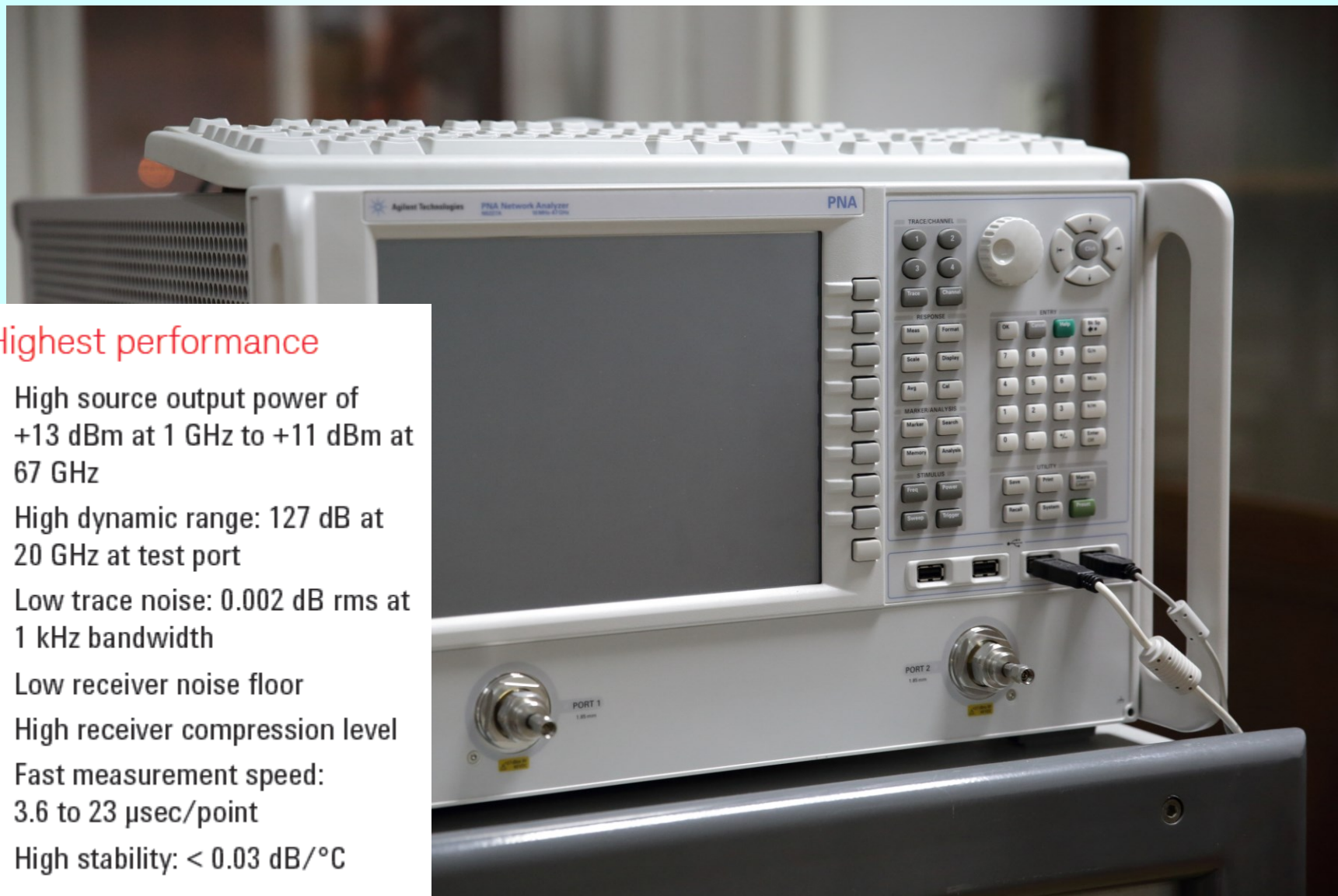
<b>Frequency</b>	<b>E5061A</b>	300 kHz to 1.5 GHz
	<b>E5062A</b>	300 kHz to 3 GHz
<b>Test set</b>		T/R or S-parameter
<b>Port impedance</b>		50 or 75 $\Omega$
<b>Port output power</b>		-5 to 10 dBm -45 to 10 dBm with extended power range
<b>Dynamic range</b>		115 dB
<b>Trace noise</b>		0.005 dB rms
<b>Sweep types</b>		Linear, log, segment, power
<b>Display</b>		10.4-inch color LCD Optional touch screen
<b>ECal support</b>		Yes
<b>Measurement channels</b>		4
<b>Limit lines</b>		Yes
<b>Save recall</b>		Yes
<b>VBA® programming</b>		Yes



# Наши анализатори мрежа

## Highest performance

- High source output power of +13 dBm at 1 GHz to +11 dBm at 67 GHz
- High dynamic range: 127 dB at 20 GHz at test port
- Low trace noise: 0.002 dB rms at 1 kHz bandwidth
- Low receiver noise floor
- High receiver compression level
- Fast measurement speed: 3.6 to 23  $\mu\text{sec}/\text{point}$
- High stability:  $< 0.03 \text{ dB}/^\circ\text{C}$



# Наши анализатори мрежа

HP 8510B  
45 MHz – 26.5 GHz





# Наш анализатор спектра

	R&S® FSP3	R&S® FSP7
Frequency range	9 kHz to 3 GHz	9 kHz to 7 GHz
Frequency resolution		aging $1 \times 10^{-6}$ /
<b>Spectral purity</b>		
Phase noise		typ. $-113$
Residual FM		
<b>Sweep time</b>		
Span >10 Hz		
Span 0 Hz (zero span)		
Resolution bandwidths		10 Hz to 10 MHz, FFT filter
Video bandwidths		
Display range		
<b>Displayed average noise level</b>		
1 GHz	typ. $-145$ dBm	typ. $-145$ dBm
7 GHz	–	typ. $-143$ dBm
13 GHz	–	–
30 GHz	–	–
40 GHz	–	–
Displayed average noise level with optional on (option R&S® FSP-B25 electronic attenuator on)	$-152$ dBm	$-152$ dBm
Total measurement uncertainty, $f < 3$ GHz		
Linear level display		



# Наш ватметар...

## Frequency Range:

100 kHz to 26.5 GHz (depending on power sensor used).

## Power Range:

With **8481A, 8482A, or 8483A** sensors: 50 dB with 5 full scale ranges of  $-20$ ,  $-10$ ,  $0$ ,  $10$ , and  $20$  dBm ( $10 \mu\text{W}$  to  $100 \text{ mW}$ ).

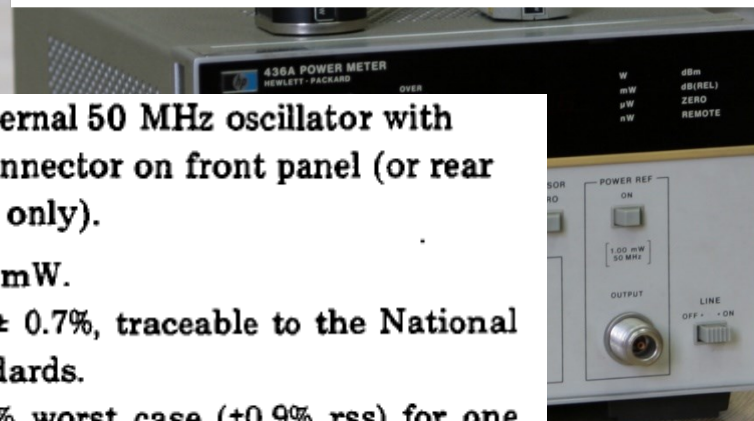
With **8484A** sensor: 50 dB with 5 full scale ranges of  $-60$ ,  $-50$ ,  $-40$ ,  $-30$ , and  $-20$  dBm ( $1 \text{ nW}$  to  $10 \mu\text{W}$ ).

**Power Reference:** Internal 50 MHz oscillator with Type N Female connector on front panel (or rear panel, Option 003 only).

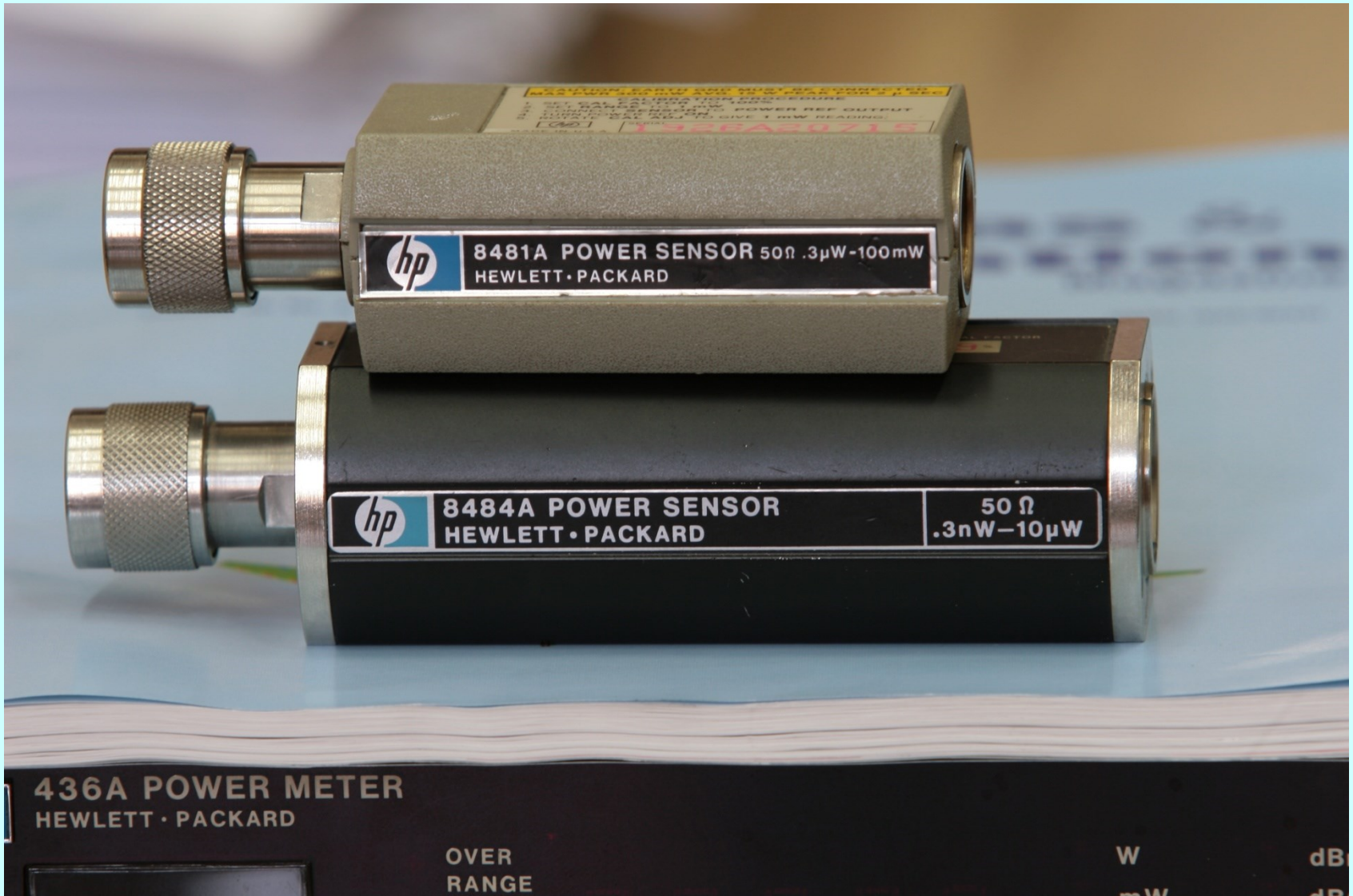
Power output: 1.00 mW.

Factory set to  $\pm 0.7\%$ , traceable to the National Bureau of Standards.

Accuracy:  $\pm 1.2\%$  worst case ( $\pm 0.9\%$  rss) for one year ( $0^\circ\text{C}$  to  $55^\circ\text{C}$ ).

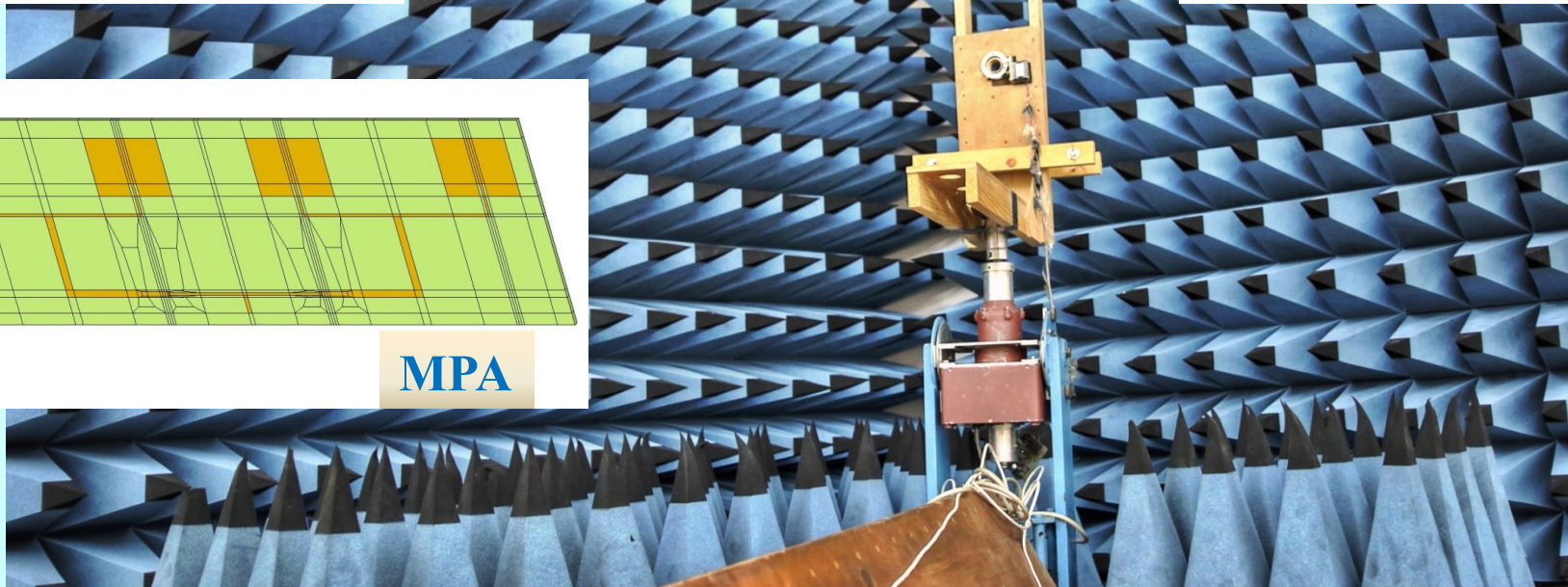
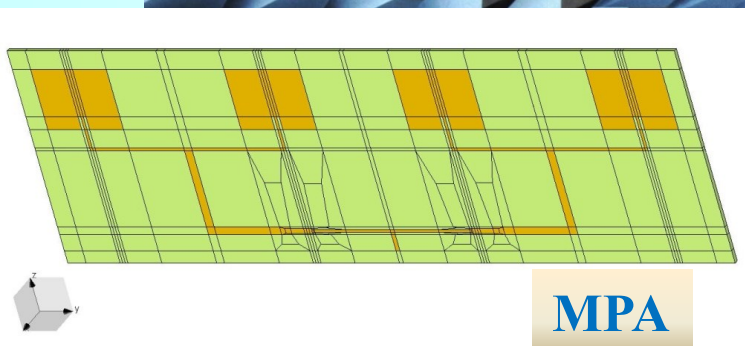
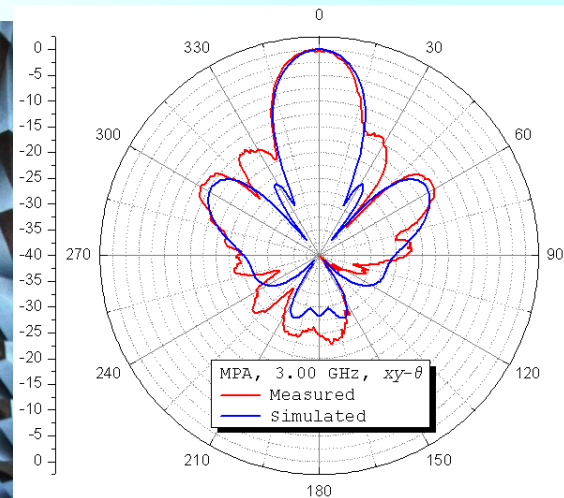
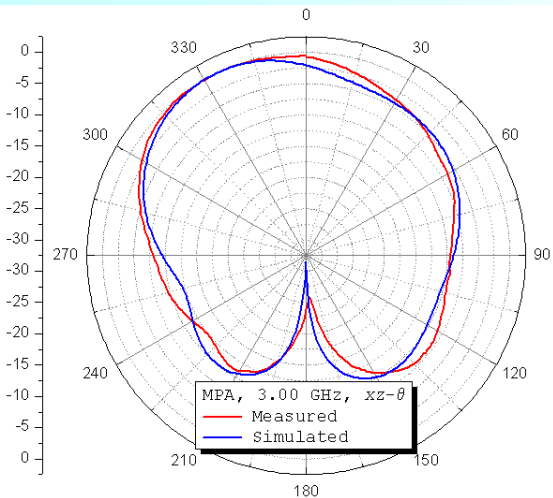


# ... и детектори снаге





# Антенска соба - 63





# Циљеви курса

- Да научимо како се мере основне величине у микроталасној техници
- Да сазнамо у којим областима се примењују поједина мерења
- Да овладамо поступком мерења на мерним уређајима које поседујемо

# Извођење наставе

- Теоријски део наставе и тестове изводимо у учионици
- Практичну обуку и лабораторијске вежбе изводимо у лабораторијама 63 и 95а

# Предиспитне и испитне радње и оцењивање

- На свакој од **5 лабораторијских вежби** које ћемо организовати током семестра може се освојити максимално **6 поена** (укупно **30**)
- На **3 теста** током семестра могуће је освојити максимално **40 поена**
- На **писменом испиту** могуће је освојити максимално **30 поена**
- Скала за оцењивање, у зависности од укупног броја освојених поена, је следећа  
**6 (51-60), 7 (61-70), 8 (71-80), 9 (81-90), 10 (91-100)**

# Литература

- Тасић, С. М., *Микроталасна мерења*, Универзитет у Београду - Електротехнички факултет, Београд, 2022.
- Видео предавања
- **Edited by R. J. Collier and A. D. Skinner**, *Microwave Measurements 3rd Edition*, The Institution of Engineering and Technology, 2007.
- Ђорђевић, Р. А. И Тошић, В. Д., *Микроталасна техника*, Академска мисао, Електротехнички факултет, Београд, 2006.
- Application Notes  
(Agilent, Rohde&Schwarz, Anritsu, Tektronix)