



Akademija tehničko-vaspitačkih strukovnih studija odsek NIŠ

Katedra za Informaciono-komunikacione tehnologije

ELEKTRONSKA MERNÁ INSTRUMENTACIJA - EMI



Prof. dr Zoran Veličković, dipl. inž. el.

2019/2020.

Prof. dr Zoran Veličković, dipl. inž. el.

ELEKTRONSKA MERNA INSTRUMENTACIJA

Elektronski merni izvori
(13)



Sadržaj

▶ ELEKTRONSKI MERNI IZVORI

- ▶ Opšte karakteristike
- ▶ Podela mernih izvora

▶ GENERATORI SINUSNOG TALASNOG OBLIKA

- ▶ Furijeova analiza signala
- ▶ LC / RF oscilatori
 - ▶ Hartlejev oscilator
 - ▶ Kolpicov oscilator
- ▶ Audio/ RC / ton generatori
 - ▶ Vinov oscilator
- ▶ SVIP generatori
 - ▶ Snimanje amplitudske karakteristike SVIP generatorom

▶ GENERATORI FUNKCIJA

- ▶ Opšte karakteristike
- ▶ Blok šema

▶ IMPULSNI GENERATORI

- ▶ Osnovne karakteristike impulsa
- ▶ Generatori proizvoljnog talasnog oblika
- ▶ Blok šema

▶ IZLAZNI OSABLJIVAČI

- ▶ Realizacija podesivog izlaznog osabljivača

▶ ZADACI

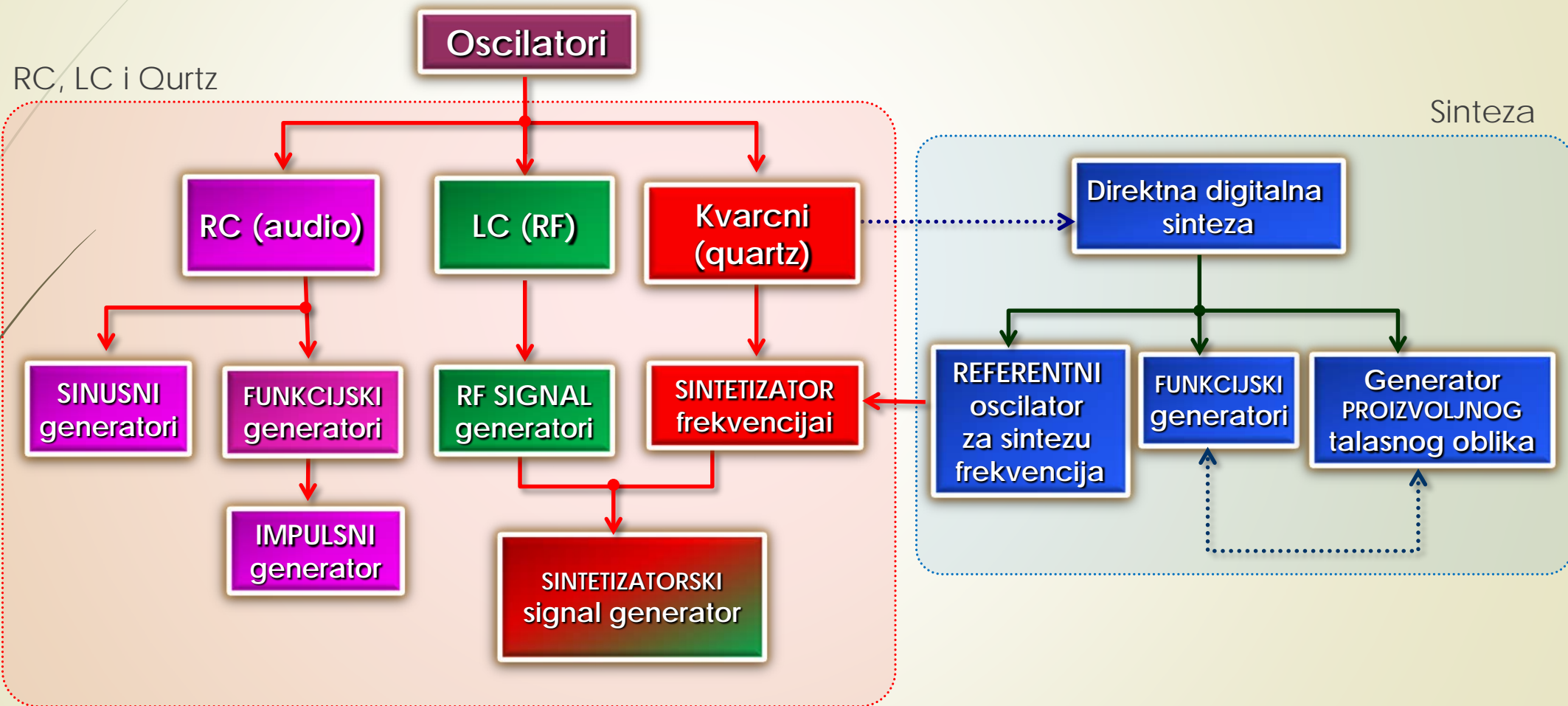
Merni izvori

- Generisanje **MERNIH SIGNALA** je veoma važno u procesima **RAZVOJA** i/ili **ISPITIVANJA** elektronskih uređaja.
- Uređaji za generisanje mernih signala poznati su pod imenom **SIGNAL GENERATORI** ili **MERNI IZVORI**.
- Osnovni zadatak mernih izvora je obezbeđivanje **POZNATIH TEST USLOVA** za najrazličitije elektronske sisteme u cilju njihovog **ISPITIVANJA** ili **REPARACIJE**.
- Postoje različiti tipovi **SIGNAL GENERATORA**, ali neke od osnovnih karakteristika su zajedničke za sve njih:
 1. FREKVENCIJA generisanog signala mora biti **DOBRO POZNATA** i **STABILNA**.
 2. **AMPLITUDA** generisanog signala se može podešavati od **VRLO MALIH** do **VRLO VELIKIH VREDNOSTI** u deklarisanom opsegu.
 3. Sam signal mora biti **BEZ IZOBLIČENJA**.

Podela mernih izvora (1)

- ▶ Prema **IZLAZNOJ SNAZI** izvori naizmeničnog napona se mogu podeliti na:
 - ▶ MALE (1mW do 0.1W);
 - ▶ SREDNJE (0.1W do 10W) i
 - ▶ VELIKE SNAGE (10W do 100W).
- ▶ **TAČNOST** i **STABILNOST FREKVENCije** su od **POSEBNE VAŽNOSTI** kod generatora signala.
- ▶ Da bi se zadovoljili osnovni **TEHNIČKI ZAHTEVI** koje treba da ispune merni izvori, mora se obratiti posebna pažnja na projektovanje:
 1. Izvora napajanja,
 2. Temperature stabilizacije i
 3. Kvaliteta ugrađenih komponenata.
- ▶ Kod instrumenata koji su podložni **POVREMENOJ KALIBRACIJI** mora se obezbediti i **MOGUĆNOST PODEŠAVANJA** osnovnih parametara.

Podela mernih izvora (2)



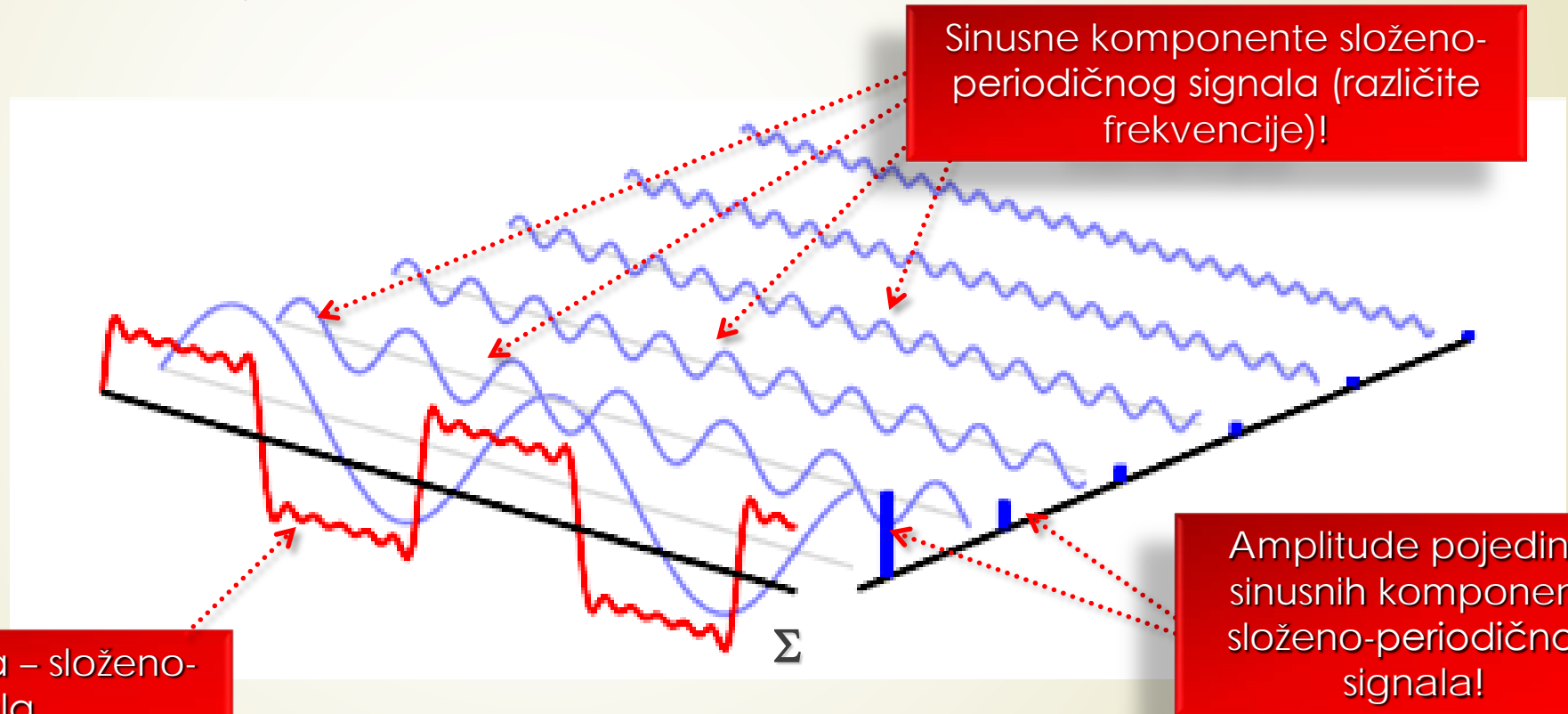
Generatori sinusnog talasnog oblika

- Ovo je **NAJRASPROSTRANJENIJA** klasa generatora signala zbog važnosti same **SINUSNE FUNKCIJE** u **ANALIZI SIGNALA**.
- **FURIJEVOM ANALIZOM** je pokazano je da se svaki signal može **RAZLOŽITI** na **NIZ SINUSNIH KOMPONENTI** (pogledaj sledeći slajd).
- Ova činjenica omogućava da se testiranje sistema može obaviti na **RAZLOŽENIM FREKVENCIJAMA!**
- Generatori sinusoidalnog talasnog oblika se mogu naći u frekvencijskom opsegu od **NEKOLIKO HERCA** (x Hz) do **NEKOLIKO GIGAHERCA** (x GHz).
- Generička (opšta) **BLOK ŠEMA** sinusnih generatora se može predstaviti sa četiri osnovna bloka:



Furijeova analiza signala

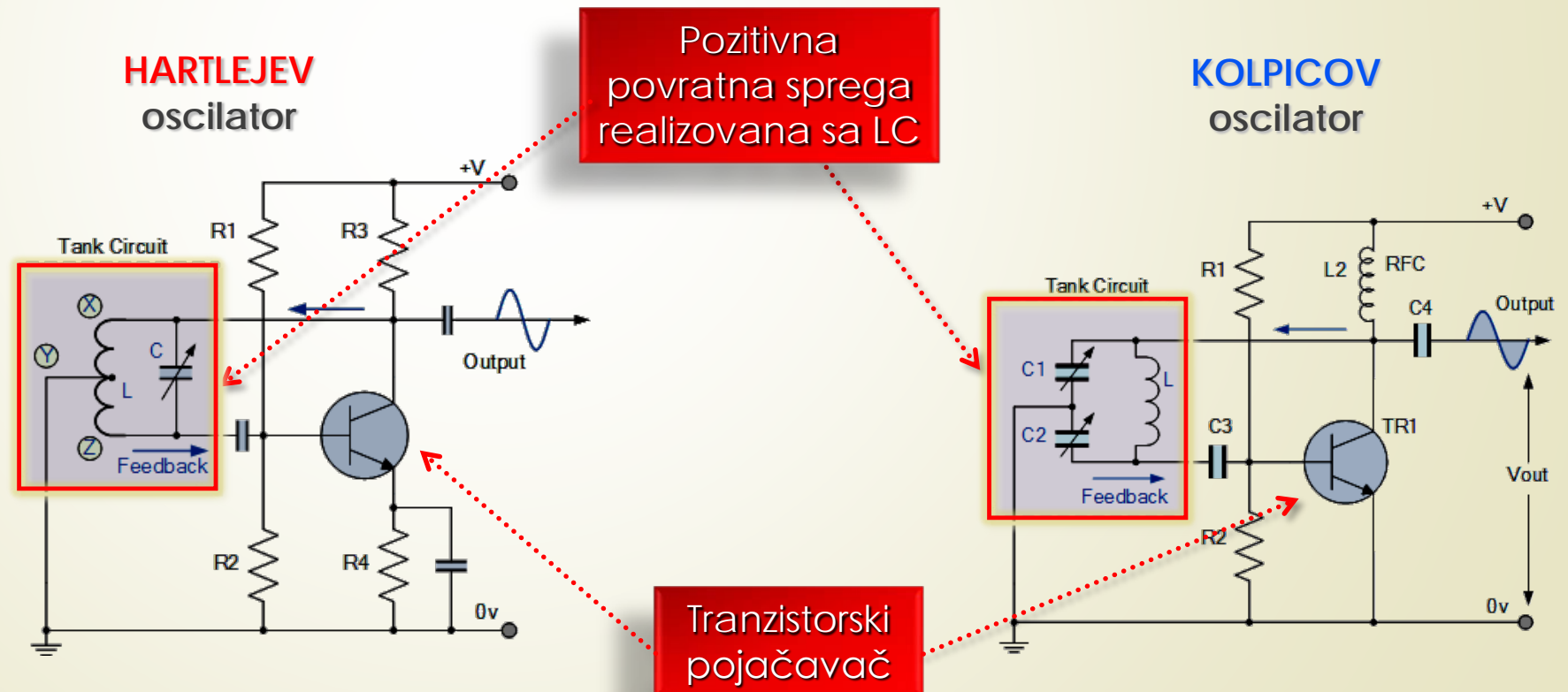
- ▶ Primer razlaganja SLOŽENO-PERIODIČNOG SIGNALA - POVORKE PRAVOUGAONIH IMPULSA Furijeovom transformacijom.



Rezultujuća komponenta – složeno-periodični signala
POVORKA PRAVOUGAONIH IMPULSA

Furijeova analiza signala

- Ovo je vrlo široka klasa elektronskih instrumenata koja koristi REZONANTNE KARAKT. LC KOLA za generisanje stabilne frekvencije.
- LC oscilator se sastoji od POJAČAVAČA i kola POZITIVNE POVRATNE SPREGE (primer: HARTLEJEV i KOLPICOV oscilator).



Zadaci (1)

- Za OSCILATORNO KOLO oformljeno od LC komponentata za slučaj REZONANSE ima se:

$$\omega L = \frac{1}{\omega L'}, f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

- Koji je odnos najviše i najniže frekvencije k , LC oscilatora, ako se koristi promenljivi kondenzator u opsegu od $C=50\text{pF}$ do $C=350\text{pF}$?

$$k = \frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{min}}}}{\frac{1}{2\pi\sqrt{LC_{max}}}} = \sqrt{\frac{C_{max}}{C_{min}}}$$

$$k = \sqrt{\frac{350}{50}} = 2.654$$

Zadaci (2)

- ▶ Koliko različitih induktivnosti i kojih vrednosti treba upotrebiti u prethodnom zadatku da bi se pokrilo frekventno područje od 1 do 30 MHz. Dozvoljena su izvesna preklapanja opsega.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow L = \frac{1}{4\pi^2 f^2 C}$$

$$L_1 = \frac{1}{4\pi^2 f_{\min}^2 C_{\max}} = \frac{1}{4\pi^2 (10^6)^2 350 \cdot 10^{-12}} = 72.37 \mu H \quad \text{od 1MHz do } \times 2.645 = 2.645 \text{MHz}$$

$$L_2 = \frac{1}{4\pi^2 f_1^2 C_{\max}} = \frac{1}{4\pi^2 (2.5 \cdot 10^6)^2 350 \cdot 10^{-12}} = 11.579 \mu H \quad \text{od 2.5MHz do } \times 2.645 = 6.6125 \text{MHz}$$

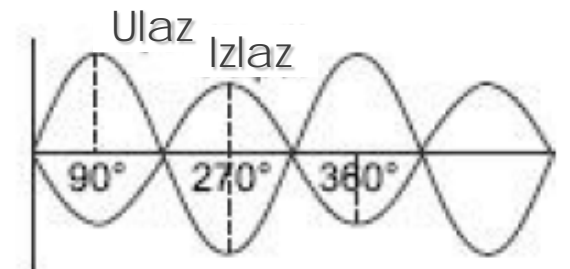
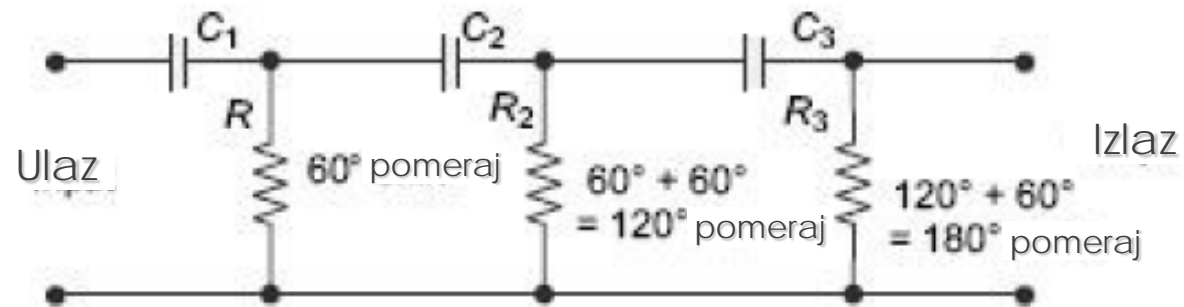
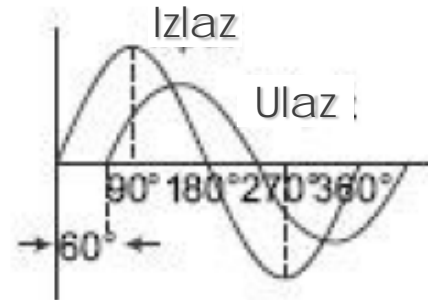
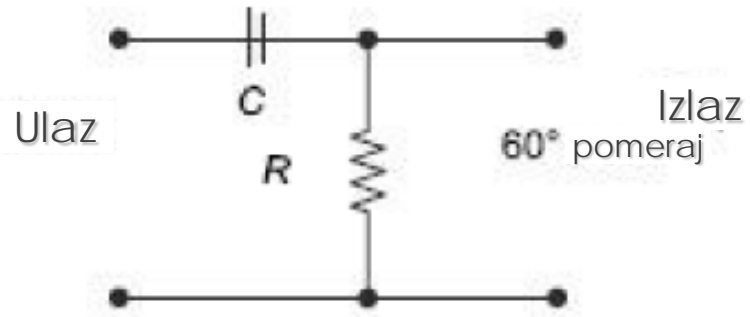
$$L_3 = \frac{1}{4\pi^2 f_2^2 C_{\max}} = \frac{1}{4\pi^2 (6.5 \cdot 10^6)^2 350 \cdot 10^{-12}} = 1.7129 \mu H \quad \text{od 6.5MHz do } \times 2.645 = 17.1925 \text{MHz}$$

$$L_4 = \frac{1}{4\pi^2 f_3^2 C_{\max}} = \frac{1}{4\pi^2 (17.0 \cdot 10^6)^2 350 \cdot 10^{-12}} = 0.2504 \mu H \quad \text{od 17MHz do } \times 2.645 = 44.965 \text{MHz}$$

Audio/ RC / ton generatori

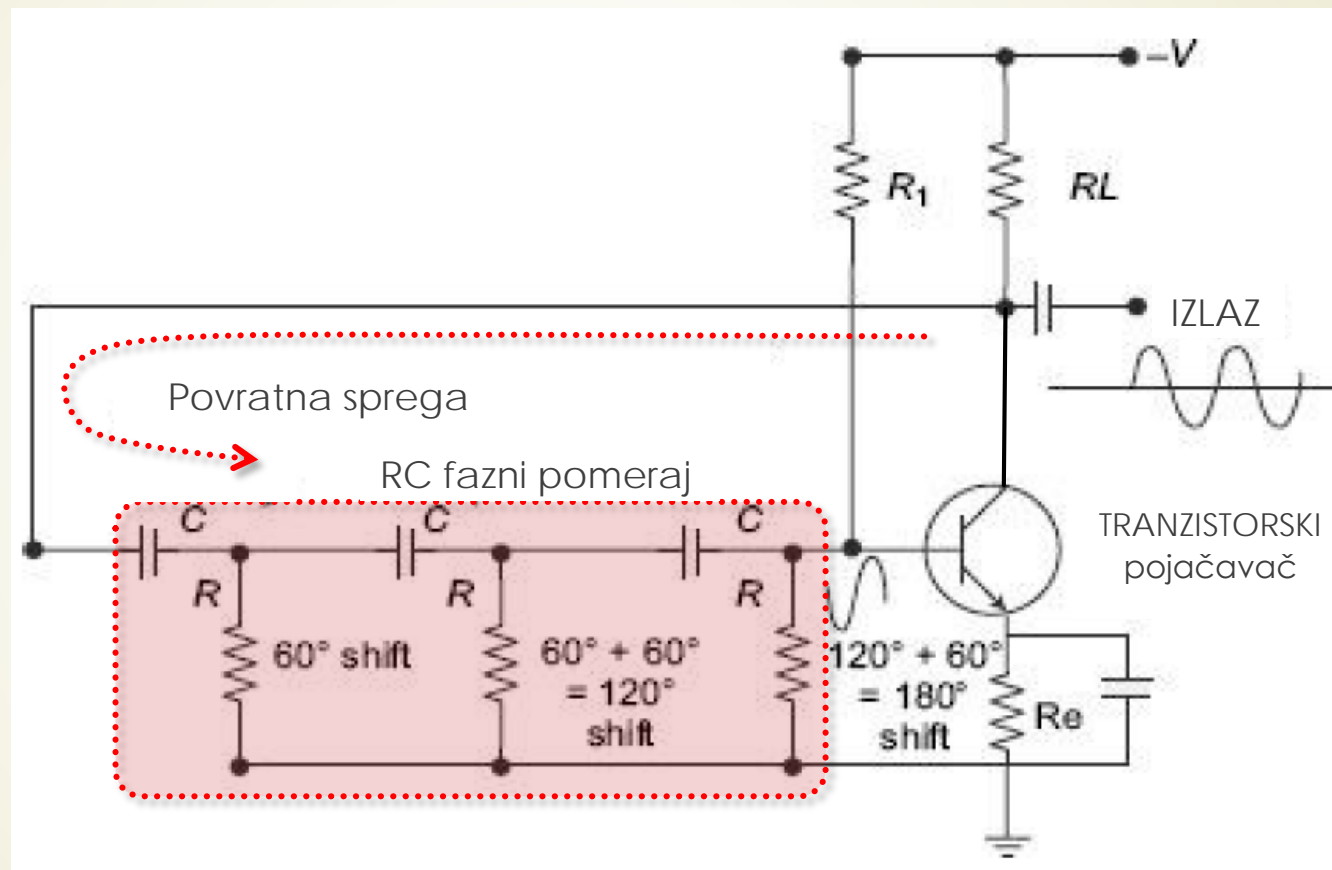
- ▶ **TON GENERATORI** (RC oscilatori ili NF generatori) imaju dosta zajedničkih karakteristika sa VISOKO-FREKVENCIJSKIM LC generatorima ali uz nekoliko značajnih razlika:
 - ▶ Ovi generatori za razliku od LC oscilatora koriste RC MREŽE u povratnoj sprezi.
 - ▶ Zahtevi za RC AUDIO (ton) generatore su identični onim za visokofrekvencijske.
- ▶ Oscilator sa VINOVIM (engl. *Wien*) MOSTOM proizvodi **ČISTI SINUSOIDALNI SIGNAL** korišćenjem **RC MREŽE U POVRATNOJ SPREZI**.

Fazni pomeraj RC kolo



$$\text{fazni pomeraj } \varphi = \tan^{-1} \frac{R}{X_c}$$

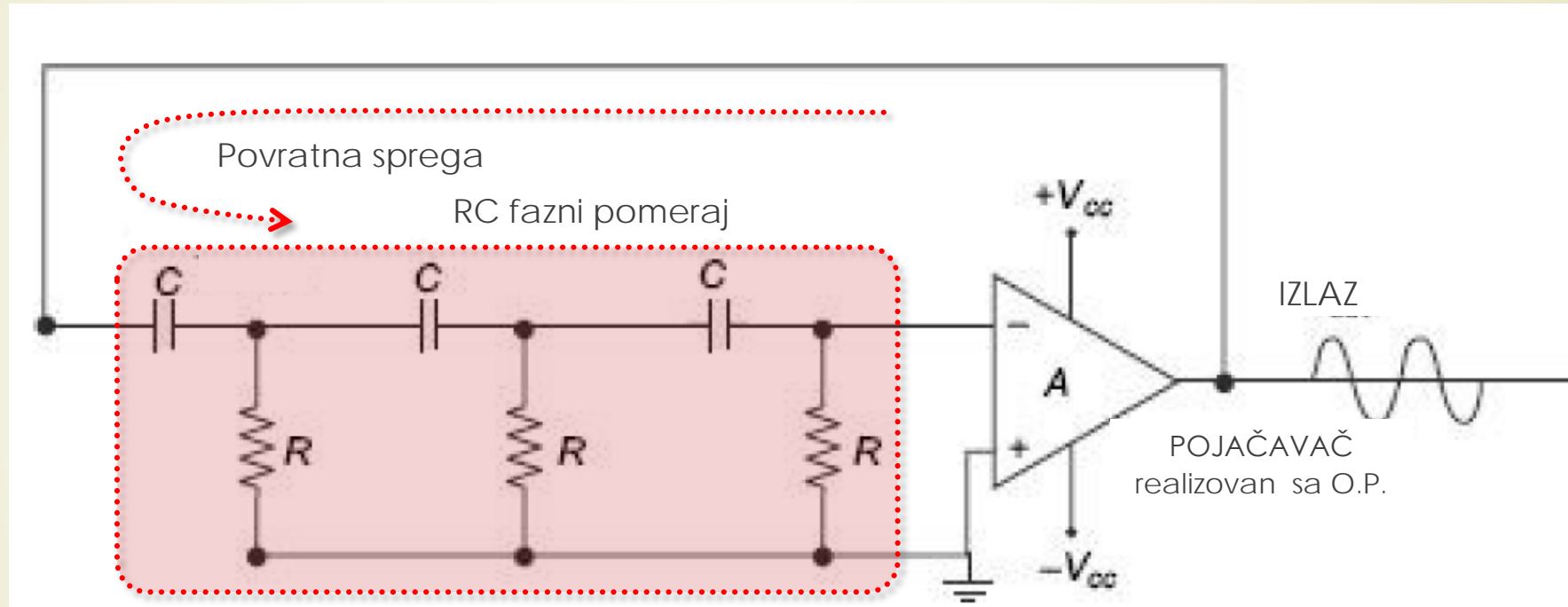
Oscilator sa faznim pomerajem RC kola



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{2NRC}}$$

N je broj RC članova (u ovom primeru N=3, fazni pomeraj = 180°.)

Oscilator sa faznim pomerajem RC kola



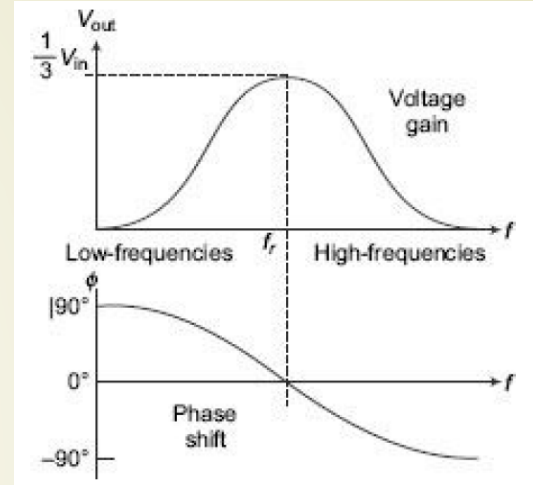
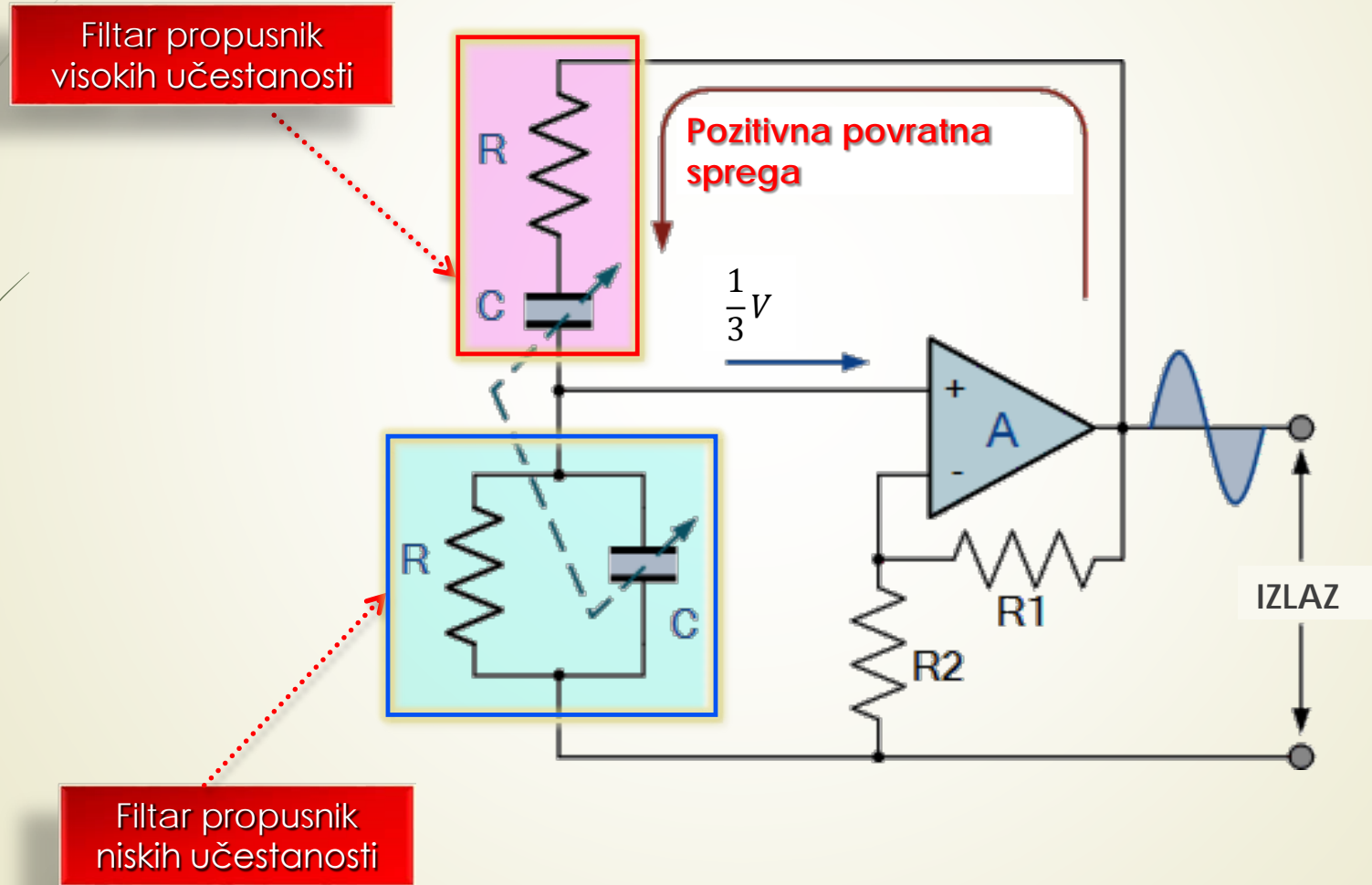
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{2NRC}}$$

N je broj RC članova (u ovom primeru N=3, fazni pomeraj = 180°.)

Zadaci (2)

- ▶ Odrediti frekvenciju oscilovanja RC oscilatora koji poseduje tri identična RC kola sačinjenih od $R = 10 \text{ k}\Omega$ i $C = 500 \text{ pF}$.
- ▶ ODGOVOR: 13 kHz.

Vinov oscilator sa O.P.



$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{RC}}$$

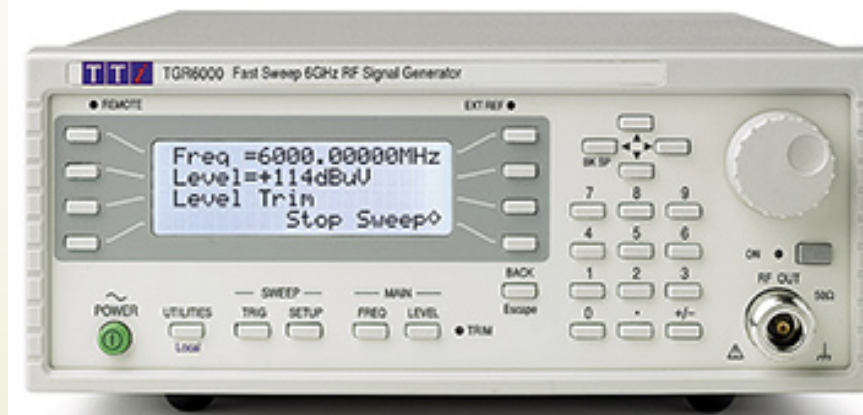
$$A > 3$$

$$X_C = R$$

SVIP generatori

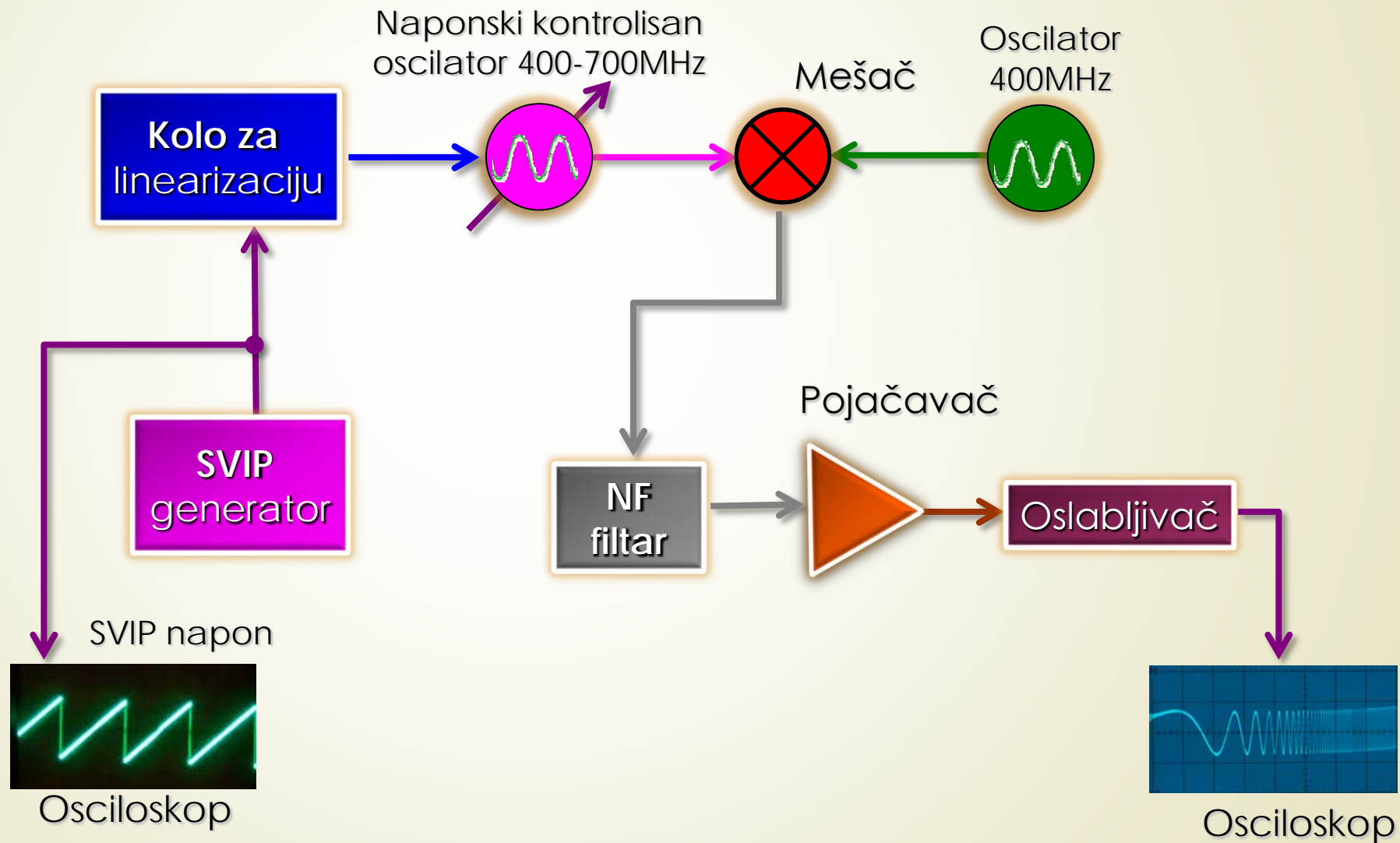
- ▶ **SVIP GENERATOR** (nem. Vobler) je merni izvor naizmeničnog napona koji daje sinusni izlazni signal čija se frekvencija **AUTOMATSKI - KONTINUIRANO MENJA** u određenom **FREKVENCIJSKOM OPSEGU**.
- ▶ **BRZINA PROMENE FREKVENCIJE** i same **FREKVENCIJE** se zadaju i **UNAPRED** su poznate.
- ▶ **AMPLITUDA** izlaznog signala **MORA DA OSTANE KONSTANTNA** u **ČITAVOM FREKVENCIJSKOM OPSEGU** što predstavlja osnovni problem u realizaciji ovih uređaja.
- ▶ Merni generatori sa SVIP-om se koriste prilikom snimanja **FREKVENCIJSKIH KARAKTERISTIKA** elektronskih uređaja.
- ▶ Najčešće se primenjuju za snimanje **AMPLITUDNIH** i **FAZNO-FREKVENCIJSKIH** karakteristika prijemnika, pojačavača ili filtera.
- ▶ Merenje **FREKVENCIJSKIH** i **FAZNIH** karakteristika merenog pojačavača je obavljeno u laboratorijskoj vežbi br. 1.

Izgled SVIP signala u vremenskom domenu



Amplituda treba da je konstantna u celom frekvencijskom opsegu

Blok šema SVIP generatora

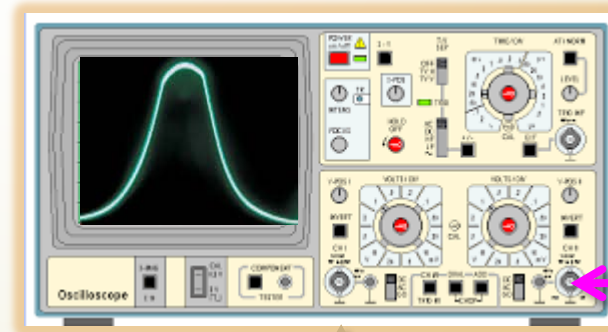


Snimanje amplitudske karakteristike primenom SVIP generatora



X-Y mod rada osciloscopa!

SVIP napon



Vertikalni ulaz

Horizontalni ulaz

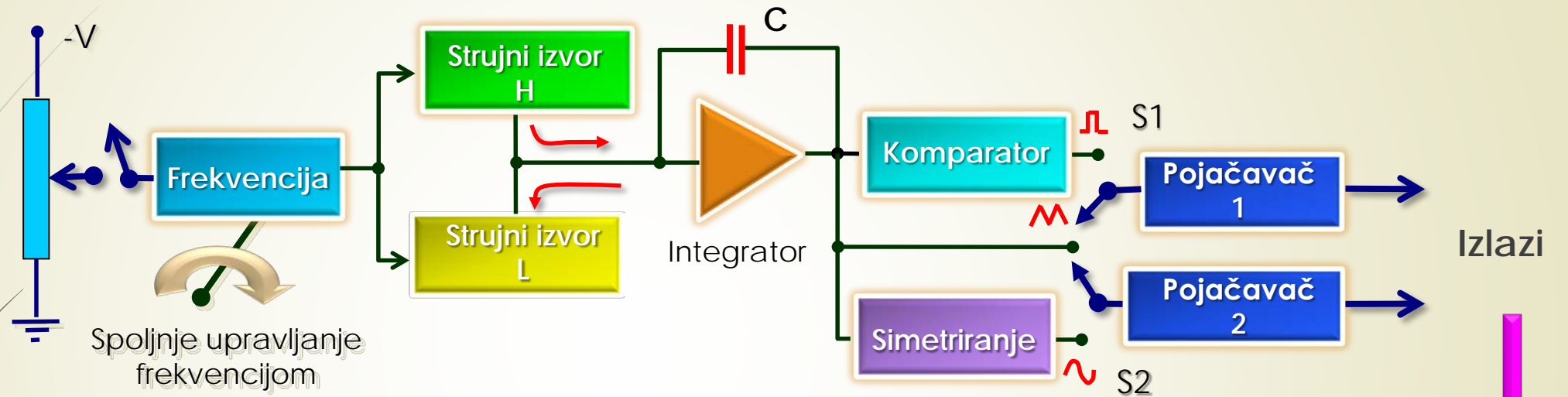
Generatori funkcija (1)

- **GENERATORI FUNKCIJA** su merni izvori naizmeničnog napona koji generišu signale **RAZLIČITIH TALASNIH OBLIKA**.
- **GENERATORI FUNKCIJA** se koriste se za **MERENJE** i **ISPITIVANJE** elektronskih uređaja.
- Osnovni talasni oblici generatora funkcije su:
 - SINUSNI,
 - TROUGAONI (testerasti) i
 - PRAVOUGAONI (četvrtasti).
- Frekvencijski opseg je **ŠIRI** od NF generatora, a **UŽI** od VF generatora.
- Pored osnovnih talasnih oblika, generatori funkcije uključuju i
 - Pozitivne i negativne impulse,
 - Pozitivni i negativni testerasti talasni oblik,
 - Kao i pravougaone impulse različitog faktora ispune (form-faktora).

Generatori funkcija (2)

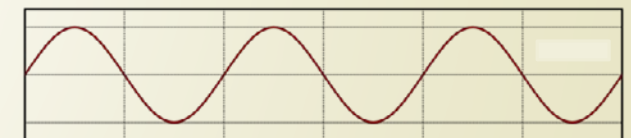
- ▶ Kako generator funkcije proizvodi **TRI RAZLIČITA** talasno oblika signala, svaki od njih može biti **PRIMARNI TALASNI OBLIK** od kojeg se generišu **DRUGA DVA** talasna oblika.
- ▶ **PRIMARNI TALASNI OBLIK** može biti **SINUSNI** talasni oblik generisan RC ili LC oscilatorom.
- ▶ Zbog poteškoća sa stabilnošću amplitude i frekvencije, posebno na vrlo niskim frekvencijama, primenjuje se **ČETVRTASTI TALASNI OBLIK** kao **PRIMARNI**.
- ▶ **FREKVENCIJSKI OPSEG** generatora funkcije je 0,1 MHz do 50 MHz.
- ▶ **DVOSTRUKA AMPLITUDA** izlaznog signala je od 1 mV do 20 V na opterećenju od 50W.
- ▶ **GREŠKA** postavljanja amplitude sinusoidnog signala je 1% do 5%.
- ▶ Amplitudno-frekvencijska karakteristika sinusoidalnog signala je **RAVNA** unutar 2% u frekvencijskom opsegu do 1 MHz
- ▶ Od 10 % do 15 % u **CELOKUPNOM** frekvencijskom opsegu.

Generatori funkcija: Blok šema

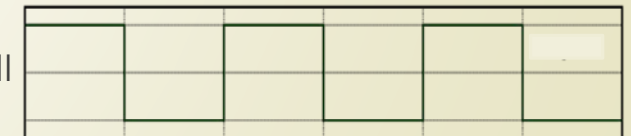


Funkcijski generator iz naše laboratorije

SINUOIDALNI



PRAVOUGAONI



TROUGAONI



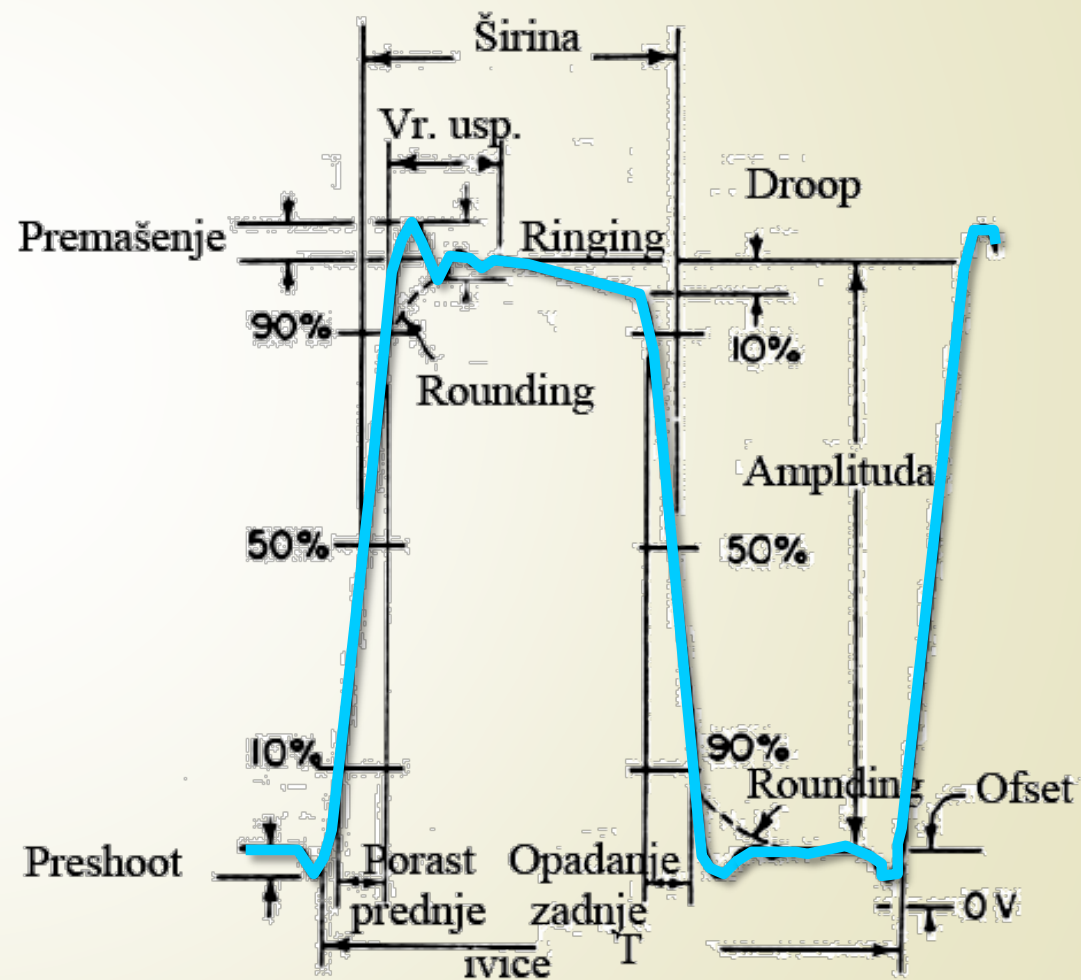
Impulsni generatori

- ▶ IMPULSNI GENERATORI su merni izvori naizmeničnog napona koji generišu PRAVILNO OBLIKOVANE IMPULSE.
- ▶ Sastavni sklopovi generatora impulsa omogućavaju promenu SVIH PARAMETARA impulsa i stvaranje:
 - ▶ Pojedinačnih impulsa,
 - ▶ Dvostrukih impulsa,
 - ▶ Impulsnog rafala ili
 - ▶ Povorke impulsa.
- ▶ Osnovne karakteristike impulsa koje se mogu podešavati su:
 - ▶ Amplituda impulsa,
 - ▶ Frekvencija ponavljanja ili perioda ponavljanja impulsa,
 - ▶ Trajanje impulsa,
 - ▶ Trajanje prednjeg prelaza i trajanje zadnjeg prelaza,
 - ▶ Faktor ispune (odnos trajanja impulsa i periode ponavljanja impulsa),
 - ▶ Vreme kašnjenja impulsa u odnosu na neki referentni impuls i polaritet impulsa.

Karakteristike impulsa

➤ Osnovni parametri impulsa su:

- Perioda
- Širina
- Porast prednje ivice
- Opadanje zadnje ivice
- Vreme uspostavljanja
- Ofset
- Amplituda
- Premašenje
- Preshoot
- Drop
- Ringing
- ...



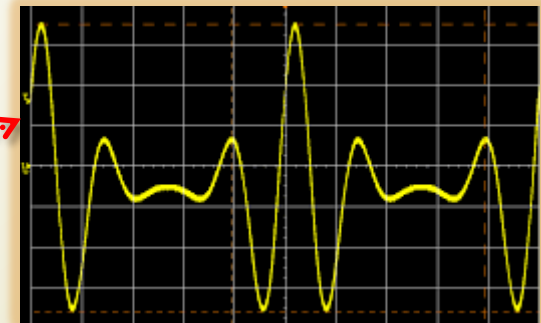
Generatori proizvoljnog T.O. (2)

KONVENCIONALNI FUNKCIJSKI GENERATORI	AWG GENERATORI
Samo standardni talasni oblici	Bilo koji talasani oblik
Konstrukcija pretežno analogna	Digitalna konstrukcija
Talasni oblik se ne može zapamtiti	Talasni oblik se može zapamtiti
Specifikacije su bazirane ne analognoj tehnici	Specifikacije su bazirane ne digitalnoj tehnici
Podešavanje talasnih oblika nije računarski podržano	Podešavanje talasnih oblika je računarski podržano

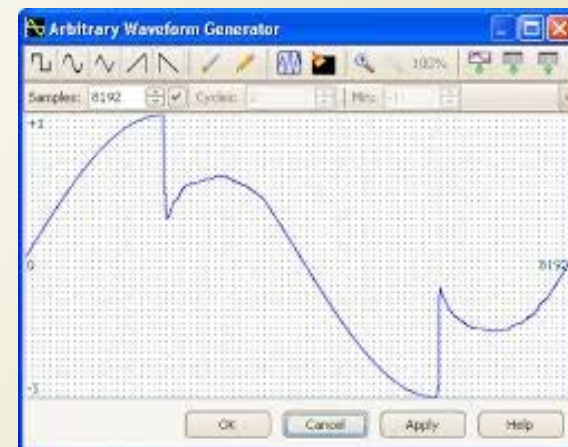
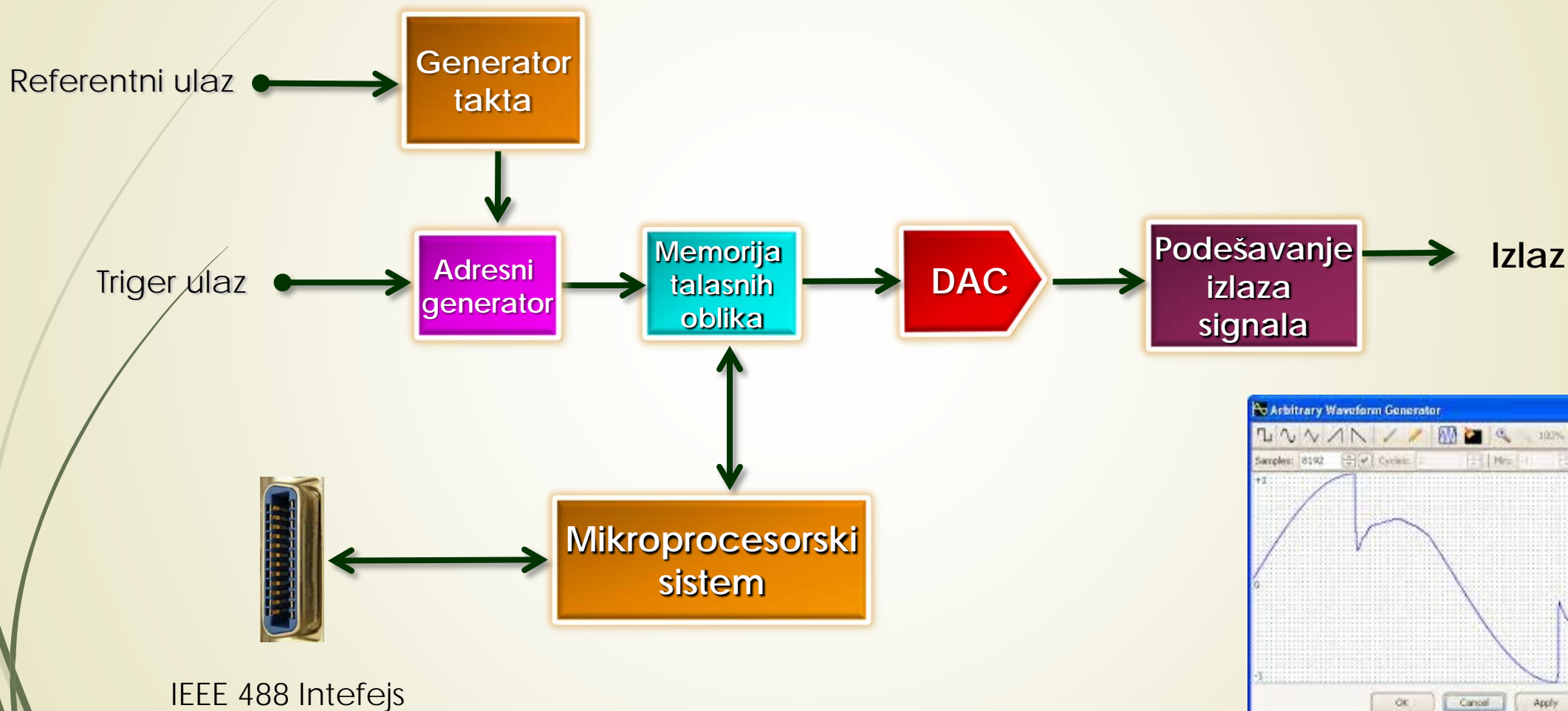
Generatori proizvoljnog T.O. (1)

- Generatori **PROIZVOLJNOG TALASNOG OBLIKA AWG** (engl. *Arbitrary Waveform Generator*) omogućavaju korisniku da **GENERIŠE PROIZVOLJAN TALASNI OBLIK** signala.
- Ovi uređaji su veoma korisni prilikom **AUTOMATSKOG TESTIRANJA** u vreme **RAZVOJA** ili **PROVERE** ostvarenih karakteristika.
- **AWG GENERATORI** se efikasno koriste za simulaciju:
 - Mehaničkih vibracija, video signala,
 - Signala prilikom čitanja podataka sa magnetnih diskova,
 - Radarskih signala, ...
- Na sledećem slajdu je prikazana komparativna analiza funkcija standardnih i AWG generagtora.

**Složeno-periodični signal
generisan AWG generatorom**



Generatori proizvoljnog T.O. (3)



Primer: izgled proizvoljnog talasnog oblika na osciloskopu

Izlazni oslabljivači

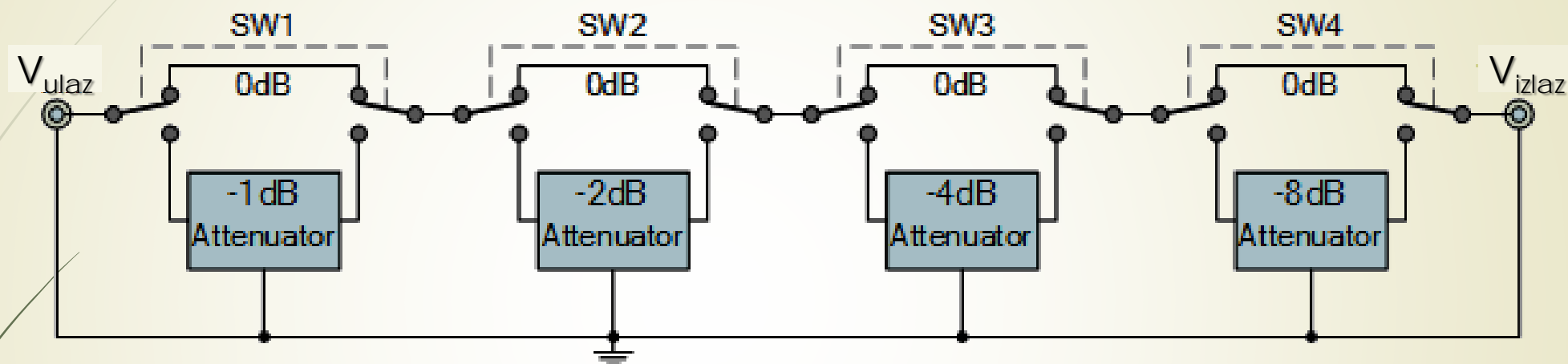
- ▶ **OSLABLJIVAČ** je **DEO GENERATORA** koji treba na izlazu da obezbedi **TAČNU AMPLITUDU** generisanog signala.
- ▶ U ispitivanju prijemnika često je potrebno dovesti **VEOMA MALE SIGNALE** na njihov ulaz.
- ▶ Ove relativno male signale je **TEŠKO POUZDANO MERITI I KALIBRISATI**, tako da se u svrhu postavljanja signala malih amplituda koriste **OSLABLJIVAČI**.
- ▶ Oslabljivači **REDUKUJU ULAZNU SNAGU SIGNALA** na takav način da je **ODNOS ULAZNE I IZLAZNE SNAGE KONSTANTAN**.
- ▶ Redukcija snage može biti prikazana u logaritamskom odnosu:

$$A(dB) = 10 \cdot \log_{10} \frac{P_u}{P_i}$$

$$A(dBw) = 10 \cdot \log_{10} \frac{P}{1 W}$$

$$A(dBm) = 10 \cdot \log_{10} \frac{P}{1 mW}$$

Realizacija izlaznog oslabljiivača



Primer: Kaskadna realizacija oslabljiivača sa preklopnima

V_{out}/V_{in}	1	0.7071	0.5	0.25	0.125	0.0625	0.03125	0.01563	0.00781
[dB]	0	-3dB	-6dB	-12dB	-18dB	-24dB	-30dB	-36dB	-42dB

ZADATAK: Odrediti položaje prekidača za slučaj 11 slabljenja signala od 11 dB.

Zadatak

- ▶ Konvertuj:
 - ▶ +5dBw u dBm; -60dBw u dBm;
 - ▶ +56dBm u dBw;
 - ▶ +13dBm u W;
 - ▶ 2W u dBw;
 - ▶ 1V u dBw;
 - ▶ -120 dBm u W