

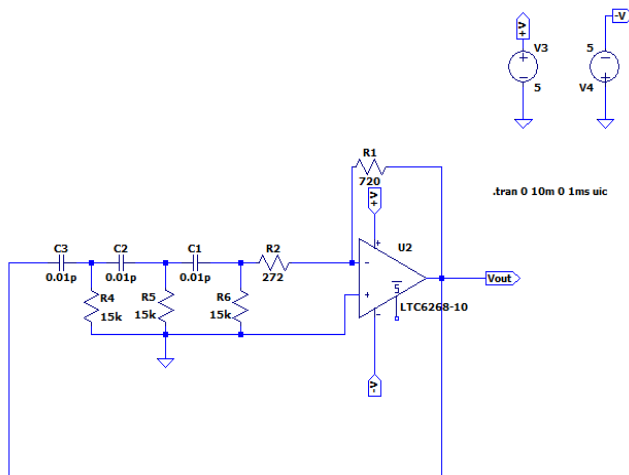
## 433 MHz RC Oscillator

Wilky Martin (2206056154), Dyah Maritza. M (2206056192)

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jl Prof. Dr. Sumitro Djojohadikusumo,  
Departemen Teknik Elektro FTUI Kampus Baru UI, Depok, 16424, Jawa Barat, Indonesia.

Email : [wilky.martin@ui.ac.id](mailto:wilky.martin@ui.ac.id) & [dyah.maritza@ui.ac.id](mailto:dyah.maritza@ui.ac.id)

### A. Skematik Rangkaian & Target



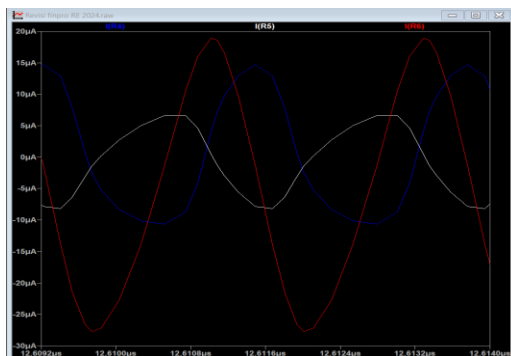
Skematik ini dibuat menggunakan aplikasi LTSpice menggunakan konfigurasi **.tran 0 10m 0 1ms uic**, dimana 0 digunakan untuk memulai simulasi dari waktu 0 detik, 10m untuk menjalankan simulasi hingga 10 milidetik, lalu pada 0 data akan dicatat dan data hasil simulasi akan dicatat setiap 1milidetik pada 1m. Lalu uic atau *Use Initial Conditions* untuk menggunakan kondisi awal elemem (kapasitor dan induktor. Target yang diinginkan ialah RC Oscillator dengan 433 MHz.

### B. Cara Kerja Rangkaian

Rangkaian diatas merupakan rangkaian oscillator analog yang menciptakan gelombang sinus pada frekuensi tertentu (433 MHz). Rangkaian ini mempunyai tiga resistor (R4, R5, R6) yang bernilai 15k dan tiga kapasitor (C1, C2, C3) bernilai 0.01pF yang disurun secara seri. Masing-masing RC tersebut menghasilkan pergeseran fase sebesar  $60^\circ$  sehingga jika ditotalkan menjadi  $180^\circ$ . Rangkaian ini juga menggunakan op-amp LTC6268-10 untuk konfigurasi inverting yang menggeser fasa sebanyak  $180^\circ$  yang berguna dalam melengkapi pergeseran fasa yang juga terjadi pada jaringan RC sehingga dapat menghasilkan total pergeseran fasa sebanyak  $360^\circ$ . Penguatan yang terjadi pada op-amp sendiri diatur oleh resistor R1 (80k $\Omega$ ) dan R2 (4.3k $\Omega$ ) yang sumber dayanya diambil dari tegangan suplai positif (V3, +5V)&(V4, -5V). Saat rangkaian mulai bekerja, op-amp menghasilkan sinyal awal yang diteruskan ke jaringan RC. Sinyal ini kemudian mengalami pergeseran fasa sebelum dikembalikan ke input op-amp melalui loop umpan balik. Dengan penguatan yang memadai dan pergeseran fasa yang tepat, proses tersebut berlangsung terus-menerus sehingga menghasilkan gelombang sinusoidal pada output Vout. Sehingga untuk mencapai osilasi yang stabil pada frekuensi yang diinginkan op-amp dan jaringan RC saling bekerja sama.

### C. Analisis Matematis

#### 1) Analisis Phase Shift



$$C = \frac{1}{(2\pi R f_o \sqrt{2N})} = \frac{1}{(2\pi \times 15000 \times 433 \times 10^6 \times \sqrt{2 \times 3})} = 0.01 \times 10^{-12}$$
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{R}{R + X_c} = \frac{R}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{j\omega CR}{j\omega CR + 1}$$
$$\angle \phi = \tan^{-1} \left( \frac{\omega CR}{0} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{\omega CR}{1} \right) = 90^\circ - \tan^{-1} (\omega CR)$$

lalu substitusikan dengan nilai R=15 k $\Omega$  dan C=0.01pF dan frekuensi 433MHz  $\angle \phi = 90^\circ - \tan^{-1} (2\pi \times 433 \times 10^6 \times 0.01 \times 10^{-12} \times 15000) = 67.8^\circ$

Berdasarkan rangkaian RC yang terdiri dari tiga tahap low-pass filter, setiap tahap memberikan pergeseran fasa ( $\phi$ ) yang idealnya dihitung menggunakan persamaan  $\phi = \tan^{-1}(\omega CR)$ , di mana  $\omega = 2\pi f$  adalah frekuensi sinyal input, R adalah resistansi, dan C adalah kapasitansi. Pada perhitungan dan simulasi yang dilakukan, nilai  $R = 15 \text{ k}\Omega$ ,  $C = 0.01 \text{ p}$ , dan frekuensi mendekati 433 MHz menghasilkan pergeseran fasa mendekati  $67.8^\circ$  per tahap. Dengan konfigurasi tiga tahap ini, total pergeseran fasa idealnya mendekati  $90^\circ$  untuk setiap filter. Secara teori, amplitudo sinyal akan semakin turun saat melalui setiap tahap RC filter, mengikuti persamaan  $\left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{\sqrt{(\omega CR)^2}}{\sqrt{((\omega CR)^2 + 1)}}$ . Pada simulasi ditemukan anomali di stage 3 (C1) di mana amplitudo meningkat dibandingkan stage 2. Hal ini dapat disebabkan oleh kapasitansi parasitik pada jalur atau komponen yang menambah total kapasitansi sehingga memengaruhi frekuensi dan pergeseran fasa. Selain itu, resonansi pada stage 3 (C1) di frekuensi tinggi 433 MHz dapat meningkatkan amplitudo secara tidak terduga. Ketidakseimbangan gain atau pergeseran fasa pada op-amp LTC6268-10 akibat feedback di frekuensi tinggi juga menjadi faktor. Terakhir, impedansi internal resistor dan jalur PCB dapat menyebabkan distorsi sinyal dan memengaruhi amplitudo di stage tertentu.

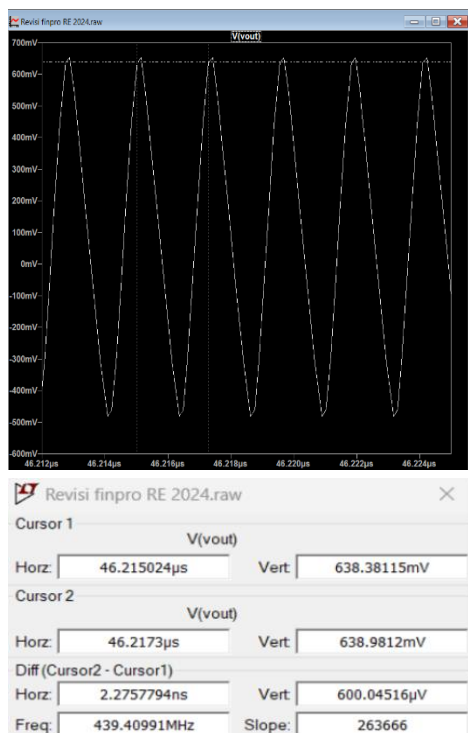
## 2) Analisis Frekuensi

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{2N}}, N = \text{Orde}$$

$$f = \frac{1}{2\pi(15)(0.01)\sqrt{2.3}} = 433.165 \text{ MHz}$$

Untuk perhitungan frekuensi, nilai kapasitor C1, C2, dan C3 masing-masing diubah menjadi 300 pF dengan konfigurasi seri, karena nilai 0.01 pF tidak umum di pasaran. Resistor dipilih sebesar 15 k $\Omega$ , yang mudah ditemukan secara komersial. Dengan konfigurasi ini, perhitungan matematis menghasilkan frekuensi 433 MHz, sesuai spesifikasi dan dapat direalisasikan.

## D. Hasil Simulasi dan Analisis



## 3) Analisis Gain

Gain loop  $\beta$  untuk sistem dihitung menggunakan persamaan

$$\beta = \left| \frac{V_o}{V_{in}} \right| = \frac{\sqrt{(\omega CR)^2}}{\sqrt{((\omega CR)^2 + 1)}}$$

$$\beta = \frac{\sqrt{(2\pi \times 433 \times 10^6 \times 0.01 \times 10^{-12} \times 15000)^2}}{\sqrt{(2\pi \times 433 \times 10^6 \times 0.01 \times 10^{-12} \times 15000)^2 + 1}}$$

$$= \mathbf{0.377841}$$

Teori untuk mendapatkan feedback gain yaitu  $\beta > 1/29$  atau  $\beta > 0.0344828$ . Dari perhitungan Nilai ini menunjukkan bahwa gain feedback ( $\beta$  lebih besar dari 0.0344828), yang merupakan syarat **Barkhausen** untuk osilasi. Untuk memenuhi syarat **Barkhausen**,  $A\beta = 1$ , maka gain sistem

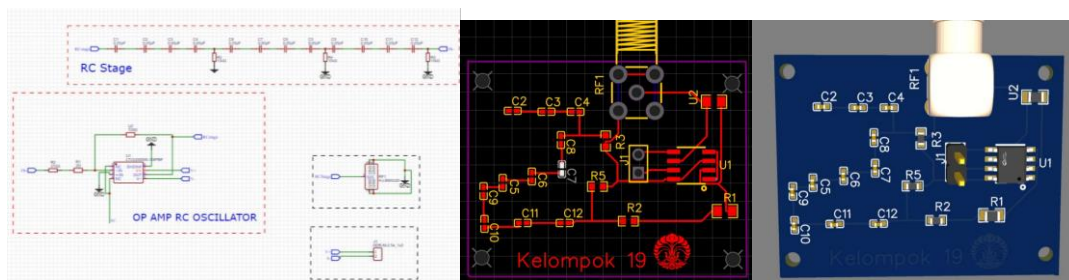
$$A = 1/\beta = 1.0.3778411 = 2.64662$$

Nilai resistansi input  $R_{in}$  dan resistansi feedback  $R_f$  dihitung menggunakan rasio gain:

$$R_{in} = \frac{R_f}{A} = \frac{720}{2.64662} = 272.0451 \approx 272 \Omega$$

Berdasarkan hasil simulasi RC Oscillator, gelombang keluaran menunjukkan pola sinusoidal yang **stabil** dengan amplitudo puncak sekitar 638 mV. Frekuensi osilasi yang dihasilkan tercatat sebesar 439.409 MHz, sedikit berbeda dari target frekuensi 433 MHz dengan **error sebesar 1.48%**. Amplitudo gelombang pada kedua titik cursor berkisar antara 638.381 mV hingga 638.981 mV, menunjukkan **osilasi yang konsisten**. Perbedaan kecil pada hasil frekuensi kemungkinan disebabkan oleh **toleransi komponen atau efek kapasitansi parasitik**. Secara keseluruhan rangkaian RC Oscillator berfungsi dengan baik menghasilkan frekuensi mendekati target dengan gelombang keluaran yang stabil dan sesuai.

## E. Desain Layout PCB dan Analisis



Rangkaian PCB di atas dirancang menggunakan aplikasi EasyEDA untuk menghasilkan osilasi stabil pada frekuensi 433 MHz. Desain ini mengandalkan jaringan RC bertahap (C1–C12, R3–R5) yang berfungsi memberikan pergeseran fasa sebesar  $180^\circ$ , sementara op-amp LTC6268-10 digunakan sebagai penguat dalam konfigurasi umpan balik positif. Layout PCB memanfaatkan komponen SMD (Surface Mount Device) untuk meningkatkan efisiensi ruang, stabilitas sinyal, serta mengurangi kapasitansi parasitik. Sinyal output RF disalurkan melalui konektor SMA (RF1) yang memiliki impedansi karakteristik  $50\Omega$ , sehingga memastikan transmisi sinyal yang optimal tanpa refleksi dan distorsi. Ground plane diterapkan di lapisan bawah PCB untuk meminimalkan noise dan menjaga integritas sinyal. Jalur tembaga (copper traces) dengan lebar 7–12 mil dipilih untuk menghubungkan komponen, karena sinyal memiliki amplitudo kecil (628 mV) dan arus rendah. Hal ini memastikan jalur tetap aman tanpa risiko panas berlebih, meskipun efek kulit (skin effect) pada frekuensi tinggi harus tetap diperhatikan.

Keunggulan desain ini terletak pada penggunaan teknologi SMD, yang menggantikan komponen through-hole untuk menghasilkan PCB yang lebih ringan, lebih kecil, dan lebih hemat biaya tanpa mengorbankan keandalan. Resistor SMD berbasis oksida logam memberikan stabilitas dan toleransi tinggi, memastikan kinerja optimal pada aplikasi frekuensi tinggi. Kapasitor film yang digunakan dalam desain ini memiliki karakteristik yang stabil, respons frekuensi yang luas, kehilangan dielektrik yang sangat kecil, serta sifat non-polaritas, sehingga ideal untuk transmisi arus kecil pada rangkaian osilator.

## F. Pembagian Tugas dan Kontribusi

- Wilky Martin (2206056154): Desain skematik dan PCB di EasyEDA, desain rangkaian simulasi pada LTSpice, dan analisis matematis.
- Dyah Maritza (2206056192): Membuat laporan, membantu skematik PCB, dan analisis matematis.

## G. Referensi

- [1] Robert Boylestad & Louis Nashelsky, "Electronic Devices And Circuit Theory", Ninth Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey/Columbus, Ohio, 2006.
- [2] L. Boylestad, Electronic devices and circuit theory. Indianapolis, Ind: Prentice Hall, 2008.
- [3] Razavi, B., Design of Analog CMOS Integrated Circuits, Second Edition, McGraw-Hill Education, Boston, 2016.
- [4] QuarkTwin. (2023, March 1). Film Capacitors its structure characteristics and applications. Quarktwin Electronic. <https://www.quarktwin.com/blogs/capacitor/film-capacitors-its-structure-characteristics-and-applications/6>
- [5] R. Ben, S. Hu, X. Li, and Z. Fu, "Signal Integrity Analysis for SMA Via on the PCB," 2017 IEEE 2nd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Beijing, China, May 6–8, 2017, pp. 2461–2465. doi: 10.1109/IAEAC.2017.8054346.