

BIDANG PENDIDIKAN DAN PENGAJARAN
BERITA ACARA PERKULIAHAN
KULIAH OFF-LINE

PERIODE SEMESTER GENAP 2023-2024

MATA KULIAH:

PIRANTI GELOMBANG MIKRO
KLAS K

LAMPIRAN BERITA ACARA PERKULIAHAN :

- 1. SK.DEKAN S-VOKASI SEMESTER GENAP 2023/2024*
- 2. PRESENSI KEHADIRAN MAHASISWA DAN DOSEN*
- 3. BAP UAS SEMESTER GENAP 2023/2024*
- 4. NILAI KOMULATIF; KEHADIRAN,TUGAS, UTS DAN UAS*
- 5. CONTOH HAND OUT MATERI AJAR*

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO S-1
FAKULTAS TEKNIK
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
Jl. Moh. Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax 021-7866955, hp: 081291030024
Email: humas@istn.ac.id Website: www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK
Nomor : 04/03.1-V/III/2024
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2023/2024

Nama	: Ir. Edy Supriyadi, MT.	Status Pegawai	: Tetap
NIK/ NIDN/ NIDK	: 01.87776 / 0319106301 / -	Program Studi	: Teknik Elektro D3
Jabatan Akademik	: Lektor Kepala		

Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam	Kredit (SKS)	Hari	
I PENDIDIKAN & PENGAJARAN	1. Pengajaran di kelas termasuk laboratorium					
	1. Dasar Sistem Kendali (Teknik Elektro S1 - Kelas A)	R-D1	08:00 - 09:40			
	2. Dasar Sistem Kendali (Teknik Elektro S1 - Kelas K)	Lab Msn	14:40 - 16:00	2	Senin Sabtu	
	3. Piranti Gelombang Mikro (Teknik Elektro S1 - Kelas K)	R-D1	17:00 - 18:40	3	Senin	
	4. Sistem Kendali Digital (Teknik Elektro S1 - Kelas A)	R-C3	11:00 - 12:40		Selasa	
	5. Sistem Kendali Digital (Teknik Elektro S1 - Kelas K)	R-D4	13:00 - 14:30	3	Sabtu	
	6. Sistem Kendali Waktu Nyata (Teknik Elektro S1 - Kelas A)	R-C4	08:00 - 10:00	3	Kamis	
	2. Pembimbing					
	1. Seminar					
	2. Kerja Praktek					
	3. Tugas Akhir/Tesis			1		
	4. Pembimbing Akademik					
	3. Peneliti					
	1. Tugas Akhir/Tesis					
	2. Kerja Praktek					
	4. Tugas Tambahan					
	1. Menduduki jabatan di Perguruan Tinggi					
	II PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah			1	
		2. Penulisan Karya Ilmiah				
3. Penulisan Diktat Kuliah						
4. Menerjemahkan Buku Kuliah						
5. Pengembangan Program Kurikulum						
6. Pengembangan Bahan Ajar						
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1. Menduduki jabatan di Pemerintahan					
	2. Pengembangan Hasil Pendidikan dan Penelitian					
	3. Memberikan penyuluhan/pelatihan/penataran/ceramah			1		
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat					
	5. Menulis karya Pengmas yang tidak dipublikasikan					
	6. Pengelolaan Jurnal Ilmiah					
IV PENUNJANG	1. Menjadi anggota/panitia pada badan/lembaga suatu PT			1		
	2. Menjadi anggota Badan Lembaga Pemerintah					
	3. Menjadi anggota organisasi profesi					
	4. Mewakili PT/lembaga pemerintah, duduk dalam panitia antar lembaga					
	5. Menjadi anggota delegasi nasional ke pertemuan internasional					
	6. Berperan Serta Aktif dalam pertemuan ilmiah/seminar			1		
	7. Anggota dalam tim layanan pendidikan					
Jumlah Total				16		

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji/honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional.
Penugasan ini berlaku dari tanggal 01 Maret 2024 sampai dengan 31 Agustus 2024

Jakarta, 07 Maret 2024
Wakil Dekan Sekolah Vokasi

Dr. Musfirah Cahya Rajah, S.Pd., M.Pd., MT, STN



Tembusan :

1. Wakil Rektor Bidang Akademik - ISTN
2. Wakil Rektor Bidang Sumber Daya - ISTN
3. Ka. Biro Pengembangan Sumber Daya Manusia - ISTN
4. Kepala Program Studi Teknik Elektro D3
5. Kepala Program Studi Teknik Elektro S1
6. Arsip



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No. RT. 13, RT. 13/RW 9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta
 Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

JURNAL PERKULIAHAN TEKNIK ELEKTRO S-1 2023 GENAP

MATA KULIAH : Piranti Gelombang Mikro
 NAMA DOSEN : Ir. EDY SUPRIYADI, MT.
 KREDIT/SKS : 3 SKS
 KELAS : K

TATAP MUKA KE	HARI/TANGGAL	MULAI	SELESAI	RUANG	STATUS	RENCANA MATERI	REALISASI MATERI	KEHADIRAN MHS	PENGAJAR	TANDA TANGAN
1	Senin, 18 Maret 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	Pendahuluan Mata Kuliah Piranti Gelombang Mikro	Terlaksana	(3 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	
2	Senin, 25 Maret 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	Tabung Konvensional	Terlaksana	(2 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	
3	Sabtu, 30 Maret 2024	15:00	17:30	R-C3	Selesai	Lanjutan Tabung Konvensional	Terlaksana	(3 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	
4	Sabtu, 6 April 2024	17:30	18:00	R-C3	Selesai	Klystron Dua Cavity	Terlaksana	(7 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	
5	Sabtu, 20 April 2024	17:00	19:00	R-C3	Selesai	Lanjutan Klystron Dua Cavity	Terlaksana	(9 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	
6	Sabtu, 27 April 2024	17:00	18:40	R-C3	Selesai	Reflex Klystron	Terlaksana	(12 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	
7	Sabtu, 4 Mei 2024	17:00	18:40	R-C3	Selesai	Riview Klystron Reflektor + Soal	Terlaksana	(11 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	
8	Sabtu, 11 Mei 2024	17:00	18:40	R-C3	Selesai	Ujian Tengah Semester (UTS) Semester Genap 23/24	Terlaksana	(12 / 12)	Ir. EDY SUPRIYADI, MT.	



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No. RT. 13, RT. 13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta
 Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

JURNAL PERKULIAHAN TEKNIK ELEKTRO S-1 2023 GENAP

MATA KULIAH : Piranti Gelombang Mikro
 NAMA DOSEN : Ir. EDY SUPRIYADI, MT.
 KREDIT/SKS : 3 SKS
 KELAS : K

TATAP MUKA KE	HARI/TANGGAL	MULAI	SELESAI	RUANG	STATUS	RENCANA MATERI	REALISASI MATERI	KEHADIRAN MHS	PENGAJAR	TANDA TANGAN
9	Senin, 20 Mei 2024	21:30	22:30	R-D1	Selesai	Review penguatan pada komponen	Terlaksana	(10 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	
10	Sabtu, 25 Mei 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	Travelling Wave Tube	Terlaksana	(11 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	
11	Senin, 3 Juni 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	TWT dan Magnetron	Terlaksana	(11 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	
12	Senin, 10 Juni 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	DIODA TUNNEL	Terlaksana	(12 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	
13	Senin, 24 Juni 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	Dioda GUNN dan latihan soal	Terlaksana	(12 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	
14	Senin, 1 Juli 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	Dioda IMPATT dan latihan soal	Terlaksana	(11 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	
15	Senin, 15 Juli 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	Riview materi setelah UTS	Terlaksana	(11 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	
16	Senin, 22 Juli 2024	17:00	18:40	R-D1	Selesai	Ujian Tengah Semester (UTS) Semester Genap 23/24	Terlaksana	(12 / 12)	Ir. IRMAYANI, MT.	

Jakarta Selatan, 29 Juli 2024
 Ketua Prodi Teknik Elektro S-1

Dr. Ing. AGUS SOFWAN, M.Eng.Sc.
 NIDN 0331076204



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No.RT.13, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta
 Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

DAFTAR HADIR MAHASISWA TEKNIK ELEKTRO S-1 2023 GENAP

Mata kuliah : 22263ELT03 - Piranti Gelombang Mikro
 Kurikulum : 2023
 Nama Kelas : K
 Ruang : R-D1 / Ruang D1

Nama Dosen : Ir. EDY SUPRIYADI, MT.
 Semester : 6
 SKS : 3
 Hari : Senin, Jam 17:00-18:40

Halaman 1/3

No	NIM	NAMA	Pertemuan															
			1 30 Mar 2024	2 25 Mar 2024	3 6 Apr 2024	4 20 Apr 2024	5 29 Apr 2024	6 6 Mei 2024	7 13 Mei 2024	8 20 Mei 2024	9 27 Mei 2024	10 3 Jun 2024	11 10 Jun 2024	12 24 Jun 2024	13 1 Jul 2024	14 8 Jul 2024	15 15 Jul 2024	16 22 Jul 2024
1	23224009	EUNIKE NATALIA WAROY	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2	23224705	APRIANSYAH DINATA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3	23224709	ANDRI WAHYUDI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4	23224711	PUTRI AYU NINGTIYAS	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5	23224713	TITISANING WULANSARI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

↑
4TS

↑
4AS

No	NIM	NAMA	Pertemuan															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
6	23224714	AULIA PARDAMEAN ARITONANG																
7	23224715	ARIF MAULANA																
8	23224716	ELSAVANIE NADINE																
9	23224717	FERI PAKPAHAN																
10	23224718	CHRISTIANI SITINJAK																

↑
UTS

↑
KAS

No	NIM	NAMA	Pertemuan															
			1 30 Mar 2024	2 25 Mar 2024	3 6 Apr 2024	4 20 Apr 2024	5 29 Apr 2024	6 6 Mei 2024	7 13 Mei 2024	8 20 Mei 2024	9 27 Mei 2024	10 3 Jun 2024	11 10 Jun 2024	12 24 Jun 2024	13 1 Jul 2024	14 8 Jul 2024	15 15 Jul 2024	16 22 Jul 2024
11	23224720	MUHAMMAD SAYUDI PUTRA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
12	23224721	YANWAR FIRMANSYAH	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA	SA
Paraf Ketua Kelas																		
Paraf Dosen			~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~	~

441

Jakarta Selatan, 19 April 2024

Dosen Pengajar,

Ir. EDY SUPRIYADI, MT.



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No.RT.13, RT.13/RW 9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta
Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

BERITA ACARA UAS

Kami pengawas UAS pada Program Studi S1 Teknik Elektro S-1

- 1. Mata Ujian : Piranti Gelombang Mikro
- 2. Pada Hari, Tanggal : Senin, 22 Juli 2024
- 3. Waktu : 17:00 - 18:40
- 4. Ruang : Ruang D1
- 5. Tahun Akademik : 2023/2024
- 6. Semester : Genap
- 7. Peserta :
 - Jumlah : 12 orang
 - Hadir : 12 orang
 - Tidak Hadir : 0 orang

Hal - hal yang perlu dilaporkan selama UAS berlangsung:

- 1 Ujian berlangsung dg lancar
- 2 -
- 3 -

Demikian Berita Acara ini kami buat dengan sebenarnya untuk diketahui dan dipergunakan sepenuhnya.

Jakarta Selatan, 22 Juli 2024

PENGAWAS

..... (.....)

..... (.....)

..... (.....)



INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moch. Kahfi II No.RT.13, RT.13/RW.9, Srengseng Sawah, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta

Website : www.istn.ac.id / e-Mail : admin@istn.ac.id / Telepon : (021) 7270090

NILAI PERKULIAHAN MAHASISWA

PRODI : TEKNIK ELEKTRO S-1

PERIODE : 2023 GENAP

Mata kuliah : Piranti Gelombang Mikro

Nama Kelas : K

Kelas / Kelompok :

Kode Mata kuliah : 22263ELT03

SKS : 3

No	NIM	Nama Mahasiswa	TUGAS INDIVIDU (20%)	UTS (35%)	UAS (35%)	KEHADIRAN (10%)	Nilai	Grade	Lulus	Sunting KRS?	Info
1	23224501	EUNIKE NATALIA WAROY	60.00	50.00	60.00	69.00	57.40	C	✓		
2	23224705	APRIANSYAH DINATA	65.00	70.00	70.00	81.00	70.10	B	✓		
3	23224709	ANDRI WAHYUDI	65.00	50.00	65.00	81.00	61.35	C	✓		
4	23224711	PUTRI AYU NINGTIYAS	70.00	70.00	70.00	81.00	71.10	B	✓		
5	23224713	TITISANING WULANSARI	80.00	70.00	75.00	88.00	75.55	A-	✓		
6	23224714	AULIA PARDAMEAN ARITONANG	85.00	50.00	65.00	81.00	65.35	B-	✓		
7	23224715	ARIF MAULANA	50.00	50.00	75.00	88.00	62.55	C+	✓		
8	23224716	ELSAVANIE NADINE	80.00	60.00	85.00	94.00	76.15	A-	✓		
9	23224717	FERI PAKPAHAN	50.00	50.00	70.00	88.00	60.80	C	✓		
10	23224718	CHRISTIANI SITINJAK	60.00	50.00	70.00	75.00	61.50	C	✓		
11	23224720	MUHAMMAD SAYUDI PUTRA	55.00	50.00	55.00	75.00	55.25	C	✓		
12	23224721	YANWAR FIRMANSYAH	85.00	50.00	75.00	75.00	68.25	B	✓		
Rata-rata nilai kelas			67.08	55.83	69.58	81.33	65.45	2.62			

Pengisian nilai untuk kelas ini ditutup pada **Sabtu, 3 Agustus 2024** oleh **199104-003**

Tanggal Cetak : Minggu, 4 Agustus 2024, 19:47:52

Paraf Dosen :

Ir. EDY SUPRIYADI, MT.

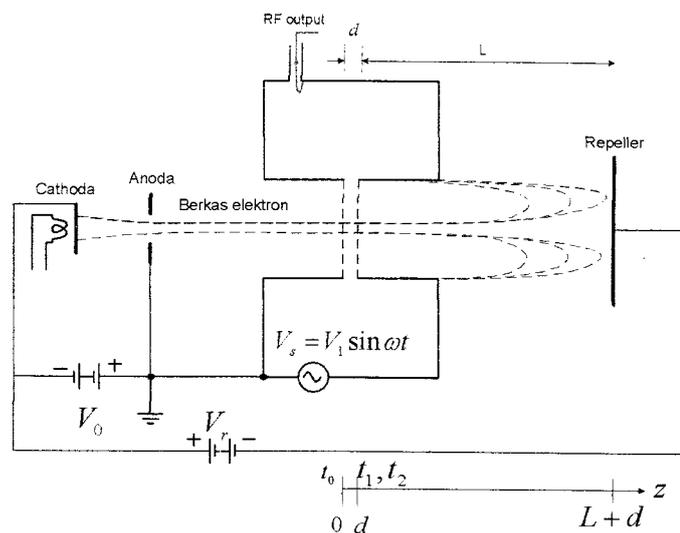
Ir. IRMAYANI, MT.

Reflex Klystron

Bila sebagian daya luaran pada klystron dua cavity dimasukkan kembali (umpan balik) ke cavity masukan dan jika penguatan magnitud sama dengan satu dengan pergeseran fasa kelipatan 2π , maka klystron akan berosilasi. Bagaimanapun, osilator dengan dua cavity biasanya tidak dilakukan, karena sewaktu frekuensi osilasi divariasikan maka frekuensi resonansi dari setiap cavity dan pergeseran fasa lintasan umpan balik harus diatur kembali untuk mendapatkan umpan balik positif. Dengan demikian sangat sulit untuk melakukan pengaturan dengan dua cavity. Reflex klystron adalah klystron dengan satu cavity yang bisa mengatasi kelemahan dari osilator dua cavity.

Reflex klystron adalah generator daya-rendah dengan luaran 10 sampai 500 mW pada bentangan frekuensi 1 sampai 25 GHz dengan efisiensi sekitar 20 sampai 30%. Reflex klystron sangat luas digunakan dalam laboratorium untuk pengukuran gelombang mikro dan sebagai osilator lokal dalam penerima gelombang mikro dalam komersil, militer dan radar Doppler penerbangan.

Teori dari klystron dua cavity dapat digunakan untuk menganalisis reflex klystron dengan sedikit modifikasi. Diagram skema dari reflex klystron diperlihatkan pada Gbr. 1.



Keterangan gambar:

t_0 : waktu untuk elektron memasuki celah cavity pada $z = 0$.

t_1 : waktu untuk elektron yang sama memasuki celah cavity pada $z = d$.

t_2 : waktu untuk elektron yang sama dikembalikan oleh medan perlambatan pada $z = d$ dan dikumpulkan pada dinding cavity.

Gbr. 1. Skema diagram reflex klystron.

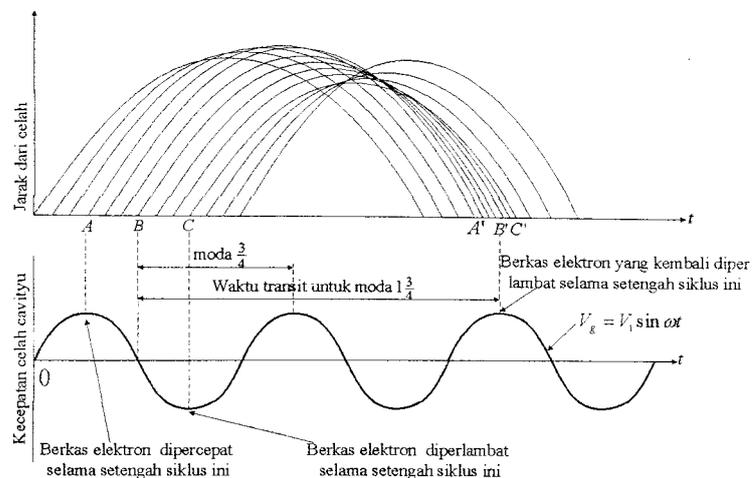
Pertama elektron yang diinjeksikan dari katoda memasuki celah cavity dimodulasi-kecepatan oleh tegangan celah cavity. Sebagian elektron dipercepat oleh medan percepatan dengan kecepatan yang lebih besar begitu memasuki daerah repeller. Sebagian lagi elektron diperlambat oleh medan perlambatan dengan kecepatan yang lebih rendah.

Sewaktu elektron hasil modulasi kecepatan ini memasuki daerah repeller, maka berkas elektron diperlambat dan dipantulkan kembali kearah yang berlawanan untuk melewati celah cavity oleh medan DC dari potensial $-V_r$ dengan medan V_r/s .

Semua elektron yang berbalik kembali oleh medan V_r/s kemudian menyatu melewati celah cavity dimana terjadi sekali untuk setiap siklus. Dalam perjalanannya kembali, elektron yang menyatu melewati celah selama fasa perlambatan dari medan bolak balik menyerahkan energi kinetiknya pada energi elektromagnetik dari medan yang ada dalam cavity.

Sudut fasa arus AC dibuat sedemikian rupa sehingga medan dalam cavity diperkuat oleh berkas elektron kembali yang sefasa dengan medan pemodulasi sesungguhnya.

Agar osilasi tetap terjaga, harus ada kecocokan waktu transit elektron referensi pada ruang repeller seketika meninggalkan celah dengan seketika kembalinya. Jelaslah, bahwa kemungkinan terbaik waktu untuk elektron kembali kecelah cavity adalah sewaktu tegangan yang ada pada lintasan celah melakukan perlambatan maksimum terhadap elektron. Pada kondisi ini tegangan celah maksimum dimana elektron-elektron yang kembali berada pada sebelah kanan celah (akan memasuki celah). Kemudian elektron-elektron akan jatuh menuju tegangan minimum diantara kisi-kisi celah, sehingga dengan demikian akan menyerahkan sejumlah maksimum energi pada celah. Karena itu, waktu terbaik untuk elektron kembali pada celah adalah pada sudut 90° dari gelombang sinus tegangan celah. Kemudian energi luaran osilator diambil dari cavity dan elektron dikumpulkan oleh dinding cavity atau bagian metal lainnya yang ditanahkan. Gbr. 2 memperlihatkan diagram Applegate untuk moda $1\frac{3}{4}$ dari reflex klystron.



Gbr. 2. Diagram Applegate dengan tegangan celah untuk reflex klystron.

Modulasi Kecepatan

Analisis tabung reflex klystron sama seperti pada tabung klystron dua cavity. Untuk penyederhanaan, pengaruh gaya muatan-ruang pada pergerakan elektron diabaikan. Elektron dari katoda yang memasuki celah cavity pada $z = 0$ dan waktu t_0 dianggap mempunyai kecepatan merata, yaitu

$$v_0 = \sqrt{\frac{2eV_0}{m}} = 0,593 \times 10^6 \sqrt{V_0} \quad m/dt \quad (1)$$

Elektron yang sama meninggalkan celah cavity pada $z = d$ pada waktu t_1 mempunyai kecepatan

$$v(t_1) = v_0 \left[1 + \frac{\beta_1 V_1}{2V_0} \sin \left(\omega t_1 - \frac{\theta_s}{2} \right) \right] \quad (2)$$

Persamaan (2) identik dengan persamaan (11) pada klystron dua cavity. Elektron yang sama dipaksa berbalik arah kembali ke cavity pada $z = d$ dengan waktu t_2 oleh medan listrik perlambatan E yang diberikan oleh

$$E = \frac{V_r + (V_0 + V_1 \sin \omega t)}{L} \quad (3)$$

Medan listrik perlambatan ini dianggap konstan dalam arah z . Persamaan gaya untuk satu elektron adalah

$$m \frac{d^2 z}{dt^2} = -eE = -e \left(\frac{V_r + V_0}{L} \right) \quad (4)$$

, dimana $E = -\nabla V$ digunakan hanya dalam arah z dan V_r adalah magnitud dari tegangan repeller (repeller) dan dianggap $|V_1 \sin \omega t| \ll (V_r + V_0)$. Dengan mengintegalkan persamaan (4)

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{e(V_r + V_0)}{mL} \int_{t_1}^t dt = -\frac{e(V_r + V_0)}{mL} (t - t_1) + K_1 \quad (5)$$

Untuk $t = t_1$, maka $\frac{dz}{dt} = v(t_1) = K_1$ sehingga

$$\frac{dz}{dt} = -\frac{e(V_r + V_0)}{mL} (t - t_1) + v(t_1)$$

, atau

$$\begin{aligned} z &= \int dz = -\frac{e(V_r + V_0)}{mL} \int_{t_1}^t (t - t_1) dt + v(t_1) \int_{t_1}^t dt \\ &= -\frac{e(V_r + V_0)}{2mL} (t - t_1)^2 + v(t_1)(t - t_1) + K_2 \end{aligned}$$

Untuk $t = t_1, z = d$ maka $K_2 = d$ sehingga

$$z = -\frac{e(V_r + V_0)}{2mL}(t - t_1)^2 + v(t_1)(t - t_1) + d \quad (6)$$

Dengan anggapan bahwa elektron yang meninggalkan celah cavity pada $z = d$ dengan waktu t_1 dengan kecepatan $v(t_1)$ dan kembali pada celah pada $z = d$ dengan waktu t_2 , maka pada saat $t = t_2$; $z = d$ persamaan (6) menjadi

$$d = -\frac{e(V_r + V_2)}{2mL}(t_2 - t_1)^2 + v(t_1)(t_2 - t_1) + d$$

, atau

$$v(t_1) = \frac{e(V_r + V_2)}{2mL}(t_2 - t_1)$$

, sehingga

$$T' = (t_2 - t_1) = \frac{2mL}{e(V_0 + V_r)}v(t_1) \quad (7)$$

Substitusikan persamaan (2) ke persamaan (7), maka dihasilkan waktu transit bolak balik dalam daerah repeller, yaitu

$$T' = (t_2 - t_1) = \frac{2mL}{e(V_0 + V_r)}v_0 \left\{ 1 + \frac{\beta_1 V_1}{2V_0} \sin \left(\omega t_1 - \frac{\theta_s}{2} \right) \right\}$$

, atau

$$T' = (t_2 - t_1) = T_0' \left\{ 1 + \frac{\beta_1 V_1}{2V_0} \sin \left(\omega t_1 - \frac{\theta_s}{2} \right) \right\} \quad (8)$$

, dimana

$$T_0' = \frac{2mLv_0}{e(V_0 + V_r)} \quad (9)$$

adalah waktu transit DC bolak balik dari pusat bergabungnya elektron (center of the bunch). Bila persamaan (8) dikalikan dengan ω

$$\omega(t_2 - t_1) = \omega T_0' \left\{ 1 + \frac{\beta_1 V_1}{2V_0} \sin \left(\omega t_1 - \frac{\theta_s}{2} \right) \right\}$$

, atau

$$\omega(t_2 - t_1) = \theta_0' + X' \sin \left(\omega t_1 - \frac{\theta_s}{2} \right) \quad (10)$$

, dimana

$$\theta_0' = \omega T_0' \quad (11)$$

adalah sudut transit DC bolak balik dan

$$X' = \frac{\beta_1 V_1}{2V_0} \theta_0' \quad (12)$$

adalah parameter osilator reflex klystron.

Daya Luaran dan Efisiensi

Agar berkas elektron menghasilkan jumlah maksimum energi untuk osilasi, maka berkas elektron yang kembali harus memotong celah cavity sewaktu medan celah maksimum. Dalam hal ini jumlah maksimum energi kinetik dapat dipindahkan dari elektron yang kembali ke dinding cavity. Untuk perpindahan energi yang maksimum sudut transit bolak balik mengacu pada pusat dari penyatuan berkas elektron yang dapat dipenuhi oleh persamaan

$$\omega (t_2 - t_1) = \omega T_0' = (n - \frac{1}{4}) 2\pi = 2\pi N = 2\pi n - \frac{\pi}{2} \quad (13)$$

, dimana dianggap $V_1 \ll V_0$, n adalah bilangan bulat positif untuk jumlah siklus, dan $N = n - \frac{1}{4}$ adalah jumlah moda.

Modulasi arus pada berkas elektron selama elektron masuk kembali ke cavity dari daerah repeller dapat ditentukan dengan cara yang sama seperti pada penguat klystron dua cavity. Dengan membandingkan persamaan (10) dengan persamaan (24) pada klystron dua cavity, dapat dilihat bahwa parameter penyatu berkas elektron X' pada osilator reflex klystron mempunyai tanda negatif bila dibandingkan dengan parameter penyatu berkas elektron pada klystron dua cavity. Dengan demikian arus berkas yang diinjeksikan kedalam celah cavity dari daerah repeller mengalir dalam arah z negatif, sehingga sebagai akibatnya arus berkas pada osilator reflex klystron dapat ditulis dengan negatif dari arus berkas penguat klystron dua cavity atau

$$i_{2r} = -I_0 - \sum_{n=1}^{\infty} 2I_0 J_n(nX') \cos n(\omega t_2 - \theta_0' - \theta_g) \quad (14)$$

Komponen utama dari arus yang diinduksikan dalam cavity oleh berkas elektron yang termodulasi diberikan oleh

$$i_2 = -\beta_i i_{2r} = 2I_0 \beta_i J_1(X') \cos n(\omega t_2 - \theta_0') \quad (15)$$

, dimana θ_g diabaikan karena sangat kecil bila dibandingkan dengan θ_0 . Magnitud dari komponen utama adalah

$$I_2 = 2I_0 \beta_i J_1(X') \quad (16)$$

Daya DC yang disuplai oleh tegangan berkas V_0 adalah

$$P_{DC} = V_0 I_0 \quad (17)$$

, dan daya AC yang dikirimkan ke beban adalah

$$P_{AC} = \frac{V_1 I_2}{2} = V_1 I_0 \beta_i J_1(X') \quad (18)$$

Dari persamaan (11), (12) dan (13), maka perbandingan tegangan V_1 terhadap V_0 adalah

$$X' = \frac{\beta_i V_1}{2V_0} \theta_0' = \frac{\beta_i V_1}{2V_0} \omega T_0' = \frac{\beta_i V_1}{2V_0} \left(2\pi n - \frac{\pi}{2} \right)$$

, atau

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{2X'}{\beta_i \left(2\pi n - \frac{\pi}{2} \right)} \quad (19)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (19) ke persamaan (18), maka dihasilkan daya luaran

$$P_{AC} = \frac{2X'V_0}{\beta_i \left(2\pi n - \frac{\pi}{2} \right)} I_0 \beta_i J_1(X')$$

, atau

$$P_{AC} = \frac{2V_0 I_0 X' J_1(X')}{\left(2\pi n - \frac{\pi}{2} \right)} \quad (20)$$

Dengan demikian efisiensi elektronik dari osilator reflex klystron adalah

$$Eff = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{2V_0 I_0 X' J_1(X')}{\left(2\pi n - \frac{\pi}{2} \right) V_0 I_0}$$

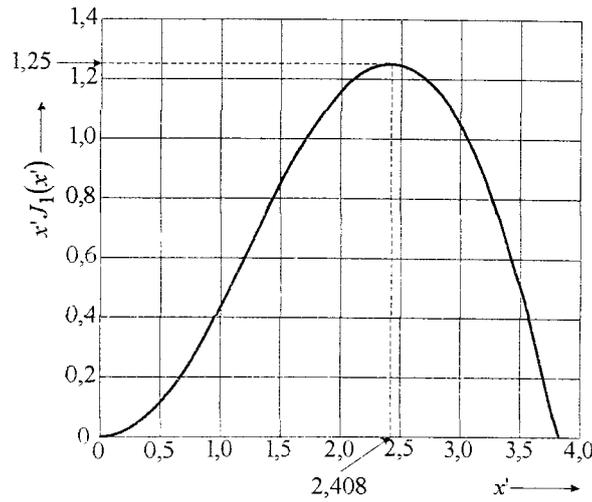
, atau

$$Eff = \frac{2X' J_1(X')}{\left(2\pi n - \frac{\pi}{2} \right)} \quad (21)$$

Faktor $X' J_1(X')$ mencapai harga maksimum 1,25 pada $X' = 2,408$ yang menghasilkan $J_1(X') = 0,52$. Dalam praktek, moda-moda $n = 1$ atau $n = 2$ mempunyai daya luaran terbesar. Bila $n = 2$ atau moda $1\frac{3}{4}$, maka efisiensi elektronik maksimum menjadi

$$Eff = \frac{2(2,408) J_1(2,408)}{2\pi n - \frac{\pi}{2}} = 22,7\%$$

Efisiensi teoritis maksimum dari osilator reflex klystron sekitar 20% sampai dengan 30%. Gbr. 3 memperlihatkan grafik $X' J_1(X')$ versus X' .



Gbr. 3. $X'J_1(X')$ versus X' .

Untuk tegangan berkas V_0 yang diberikan, hubungan antara tegangan repeller dan jumlah siklus n yang diperlukan untuk osilasi ditentukan dengan memasukkan persamaan (13) dan (1) ke persamaan (9), dimana

$$\omega T_0 = \frac{\omega 2mLv_0}{e(V_r + V_0)} = \left(2\pi n - \frac{\pi}{2}\right)$$

, atau

$$\frac{\omega 2mL}{e(V_r + V_0)} \sqrt{\frac{2e}{m} V_0} = \left(2\pi n - \frac{\pi}{2}\right)$$

, yang menghasilkan

$$\frac{V_0}{(V_r + V_0)^2} = \frac{\left(2\pi n - \frac{\pi}{2}\right)^2 e}{8\omega^2 L^2 m} \quad (22)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (22) ke persamaan (20), maka didapatkan daya luaran pada frekuensi pusat yang dinyatakan dalam tegangan repeller V_r , yaitu

$$\begin{aligned} P_{AC} &= \frac{2V_0 I_0 X' J_1(X')}{\left(2\pi n - \frac{\pi}{2}\right)} \\ &= 2V_0 I_0 X' J_1(X') \frac{(V_r + V_0)}{2\omega L} \sqrt{\frac{e}{2mV_0}} \end{aligned}$$

, atau

$$P_{AC} = \frac{2V_0 I_0 X' J_1(X')}{\omega L} (V_r + V_0) \sqrt{\frac{e}{2mV_0}} \quad (23)$$

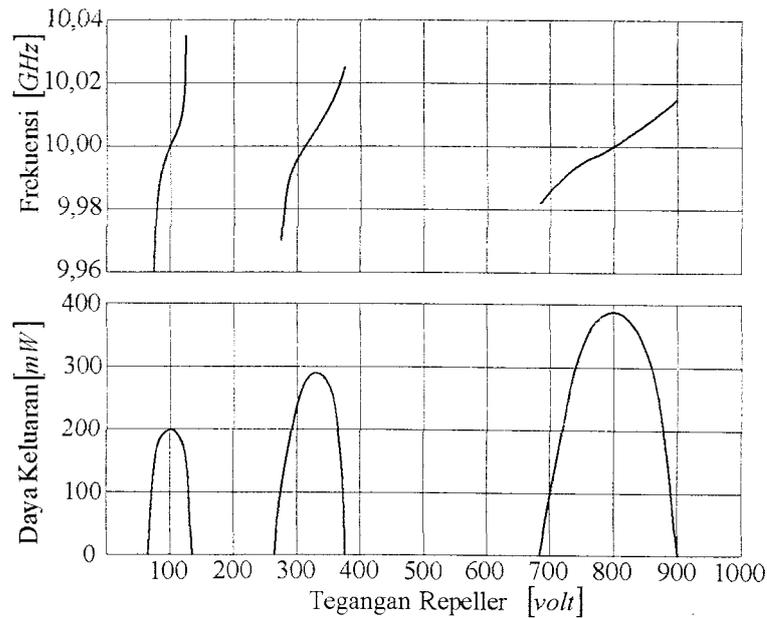
Dari persamaan (22) dapat dilihat bahwa untuk tegangan berkas V_0 yang diberikan dan jumlah siklus n atau jumlah moda N , maka tegangan pusat repeller V_r dapat ditentukan dari frekuensi

pusat. Kemudian daya luaran dapat dihitung dengan persamaan (23). Bila frekuensi bervariasi dari frekuensi pusat dan tegangan repeller disekitar tegangan pusat, daya luaran akan bervariasi sesuai dengan anggapan bentuk genta seperti pada Gbr. 4 berikut.

Admitansi Elektronik

Dari persamaan (15), arus induksi dapat ditulis dalam bentuk fasor

$$i_2 = 2I_0\beta_i J_1(X') e^{-j\theta_0'} \quad (24)$$



Gbr. 4. Karakteristik luaran daya dan frekuensi dari tabung reflex klystron.

Tegangan yang melewati celah pada waktu t_2 juga dapat ditulis dalam bentuk fasor

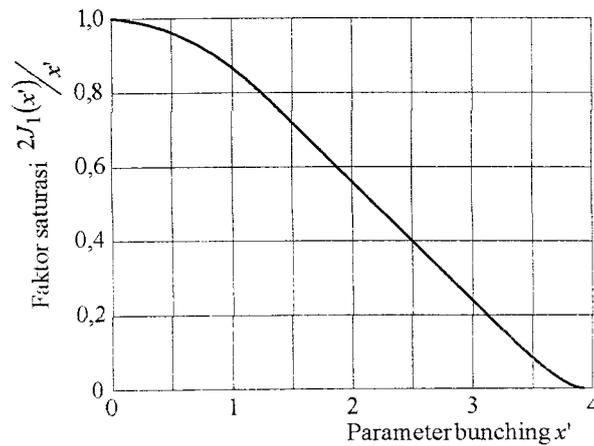
$$V_2 = V_1 e^{-j\frac{\pi}{2}} \quad (25)$$

Perbandingan antara arus i_2 dan tegangan V_2 ditentukan sebagai admitansi elektronik dari reflex klystron, sehingga dari persamaan (12), (24) dan (25) didapat

$$Y_e = \frac{i_2}{V_2} = \frac{2I_0\beta_i J_1(X') e^{-j\theta_0'}}{V_1 e^{-j\frac{\pi}{2}}} = \frac{2I_0\beta_i J_1(X')}{2V_0 X'} e^{j(\frac{\pi}{2} - \theta_0')}$$

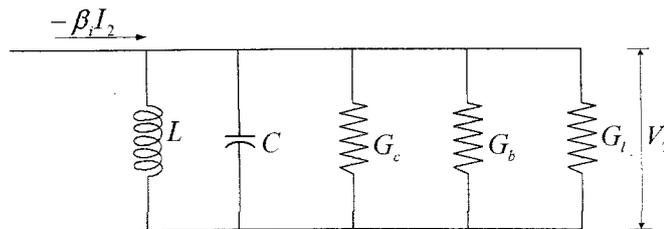
, atau

$$Y = \frac{I_0}{V_0} \frac{\beta_i^2 \theta_0'}{2} \frac{2J_1(X')}{X'} e^{j(\frac{\pi}{2} - \theta_0')} \quad (26)$$



Gbr. 5. Faktor kejenuhan reflex klystron

Amplitudo dari fasor admitansi menunjukkan bahwa admitansi elektronik merupakan fungsi dari admitansi DC berkas elektron, sudut transit DC, dan transit kedua dari berkas elektron melalui celah cavity. Ini jelas bahwa admitansi elektronik adalah nonlinier karena sebanding dengan faktor $2J_1(X')/X'$, dan X' sebanding dengan tegangan sinyal. Faktor ini sebanding dengan yang ditunjukkan oleh Gbr. 5. Bila tegangan sinyal mendekati nol maka faktor akan mendekati satu.



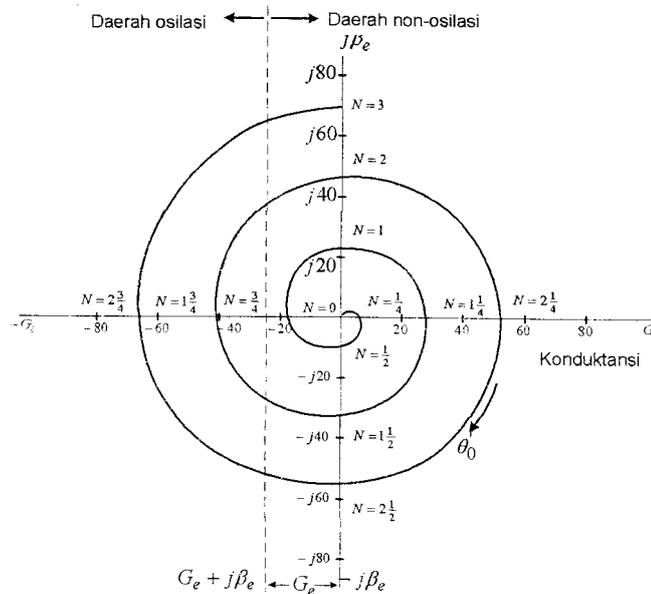
Gbr. 6. Rangkaian pengganti reflex klystron.

Rangkaian ekivalen reflex klystron digambarkan pada Gbr. 6. Pada rangkaian ini L dan C merupakan elemen penyimpan energi dari cavity. G_c mewakili rugi-rugi tembaga dari cavity. G_b merupakan konduktansi pembebanan berkas elektron dan G_l adalah konduktansi beban. Kondisi yang harus dipenuhi untuk terjadinya osilasi adalah magnitud komponen riil negatif dari admitansi elektronik seperti yang diberikan oleh persamaan (26) dan tidak lebih kecil dari total konduktansi rangkaian cavity, yaitu

$$|-G_a| \geq G \quad (27)$$

, dimana $G = G_c + G_b + G_l = 1/R_{sh}$ dan R_{sh} adalah tahanan shun efektif. Persamaan (26) dapat ditulis dalam bentuk koordinat kartesis

$$Y_e = G_e + jB_e \quad (28)$$



Gbr. 7. Spiral admitansi elektronik dari reflex klystron

Karena admitansi elektronik yang ditunjukkan oleh persamaan (28) merupakan fungsi eksponensial, dimana fasanya sebesar $\frac{1}{2}\pi$ jika θ_0' sama dengan nol. Penggambaran admitansi elektronik Y_e ini dalam koordinat kartesis berbentuk spiral seperti pada Gbr. 7. Suatu harga θ_0' dimana spiral berada pada daerah sebelah kiri dari garis $(G - jB)$ yang akan menghasilkan osilasi. Spiral akan memotong sumbu riil negatif pada

$$\theta_0' = \left(n - \frac{1}{4}\right) 2\pi = N 2\pi \quad (29)$$

, dimana N adalah jumlah moda seperti yang diperlihatkan pada gambar.

Contoh Soal

Sebuah reflex klystron bekerja dengan kondisi sebagai berikut: $V_0 = 600 \text{ volt}$, $R_{sh} = 15 \text{ k}\Omega$, $f_r = 9 \text{ GHz}$, $L = 1 \text{ mm}$, dan $e/m = 1,759 \times 10^{11}$ (MKS sistem). Tabung berosilasi pada frekuensi f_r puncak moda $n = 2$ atau moda $1\frac{3}{4}$. Dianggap bahwa waktu transit melewati celah dan beam loading diabaikan.

- Tentukanlah besarnya tegangan repeller V_r .
- Tentukanlah arus DC untuk membrikan tegangan celah gelombang mikro 200 volt,
- Tentukan efisiensi elektronik dalam kondisi ini.

Jawaban

a. Dari persamaan (22), didapatkan

$$\frac{V_0}{(V_r + V_0)^2} = \frac{(2\pi n - \pi/2)^2}{8\omega^2 L^2} \frac{e}{m} = (1,759 \times 10^{11}) \frac{(2\pi \times 2 - \frac{1}{2}\pi)^2}{8(2\pi \times 9 \times 10^9)^2 (10^{-3})^2} = 0,832 \times 10^{-3}$$
$$(V_r + V_0)^2 = \frac{600}{0,832 \times 10^{-3}} = 0,721 \times 10^6 \Rightarrow V_r = 250 \text{ volt}$$

b. Dengan menganggap $\beta_0 = 1$. Karena $V_1 = I_2 R_{sh} = 2I_0 J_1(X') R_{sh}$ maka arus searah I_0 adalah

$$I_0 = \frac{V_1}{2J_1(X') R_{sh}} = \frac{200}{2(0,582)(15 \times 10^3)} = 11,45 \text{ mA}$$

c. Dari persamaan (20), besarnya efisiensi elektronik adalah

$$Eff = \frac{2X' J_1(X')}{2\pi n - \pi/2} = \frac{2(,833)(0,582)}{2\pi(2) - \pi/2} \times 100\% = 19,4\%$$