

ГУАП

КАФЕДРА № 21

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
ПРЕПОДАВАТЕЛЬ

ассистент
должность, уч. степень, звание



11.11
подпись, дата

хорошо

А. А. Анисимов
инициалы, фамилия

ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРОВ С ВНЕШНИМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

по курсу: «Формирование и передача сигналов в радиоэлектронном оборудовании
воздушных трасс и аэропортов»

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ гр. № 2310



подпись, дата

А. А. Щербань
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург 2025

Отчет № месяц α , дни	I _α	Задороговской работы № Исследование генератора с лампами всего полученные.				P ₀	P ₁	P ₂ , %	P _{gen}
		I _g	I _{lu}	G _{lamp}					
10	55	0,42	6	42					
11	56	0,5	6	57					
12	56	0,6	8	80					
13	43	0,7	16	100					
14	18	1	30	105					
15	8	0,7	34	50					
16	20	0,4	24	100					
17	30	0,3	18	95					
18	32	0,2	13	90					
19	42	0,2	10	85					
20	44	0,2	8	80.					

Таблица 2

Опоры по шкале ф. gen.	$I_{\text{no}} \text{ на A}$	$I_{\text{go на A}}$	$I_{\text{g20 на A}}$	$I_{\text{g200 на A}}$	$V_{\text{нагр}}$	Примечание
24	30	0,3	18	0,58	78	$f = 4 \text{ МГц}$
26	28	0,5	20	0,4	75	$E_A = 470 \text{ В}$
28	26	0,4	22	0,45	70	$E_{g2} = 230 \text{ В}$
30	27	0,4	20	0,52	66	$E_g = -55 \text{ В}$
32	34	0,4	16	0,64	62	$U_g \geq 50 \text{ В}$
34	44	0,3	10	0,4	54	
36	48	0,2	6	0,62	42	
38	49	0,2	6	0,5	40	
40	50	0,2	6	0,41	38	
42	50	0,2	6	0,36	36	
44	50	0,2	6	0,32	30	

Таблица 3

Н. gen.	Учебные линии					Более сильные					Примечание
	I_{ao}	I_{g0}	I_{g20}	$V_{\text{нагр}}$	I_{g200}	P_A	$P_{\text{нк}}$	P_i	$\eta_{\text{нк}}$	P_0	
0	44	0,2	8	80	23						$f = 4 \text{ МГц}$
1	44	0,2	5	80	94						$E_A = 470 \text{ В}$
2	43	0,2	10	80	200						$E_{g2} = 230 \text{ В}$
3	40	0,2	14	78	320						$E_g = -55 \text{ В}$
4	37	0,2	14	74	400						$U_g \geq 50 \text{ В}$
5	35	0,3	16	68	490						
6	36	0,3	14	64	580						
7	40	0,3	12	60	660						
8	44	0,3	8	54	710						
9	47	0,3	7	58	780						
10	48	0,3	6	52	660						
11	50	0,3	6	32	620						
12	50	0,3	6	28	600						

Васина С.Д.
Шербаков А.А.
Тиханов К.В.
Чубенко Е.Н.

14.10

1. Цель

Изучение энергетических режимов усилителя мощности со сложной схемой выхода и освоение методики настройки высокочастотного генератора на максимальную мощность в антенне.

2. Описание лабораторной установки

На рисунке 1 представлена принципиальная схема генератора с внешним возбуждением (ГВВ) со сложной схемой вывода.

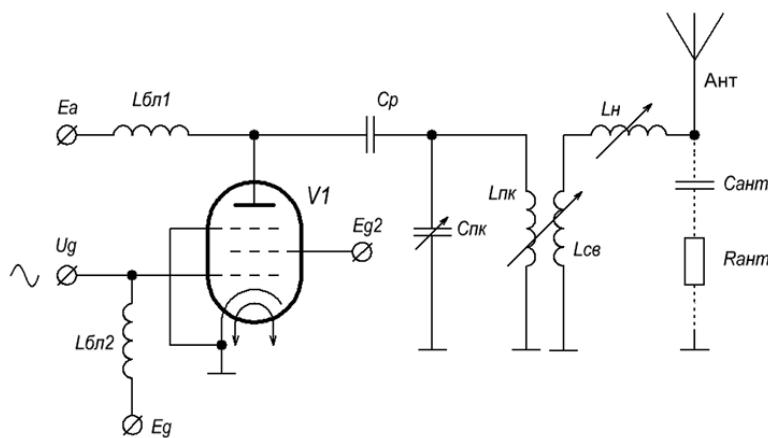


Рисунок 1 – Принципиальная схема ГВВ со сложной схемой вывода

Макет выполнен в виде двух блоков: основного блока, в котором смонтирован исследуемый генератор с независимым возбуждением, и блок – эквивалент антенны.

В состав основного блока также входят: стабилизированные источники питания, возбудитель с кварцевой стабилизацией частоты и предоконечный каскад на лампе U_1 6П15П, который, работает как усилитель немодулированных колебаний. Частота колебаний возбудителя составляет 4 МГц. Напряжение высокой частоты с анодного контура лампы U_1 подаётся на управляющую сетку исследуемого выходного каскада, собранного на ламповом пентоде U_2 ГУ-50, со сложной схемой выхода. Амплитуда напряжения возбуждения, подаваемого на управляющую сетку лампы U_2 , может регулироваться изменением смещения на третьей сетке лампы $V1$. Настройка промежуточного контура исследуемого каскада осуществляется посредством изменения емкости C_{27} контурного конденсатора.

Настройка антенного контура осуществляется изменением индуктивности L_{12} . Связь между промежуточным и антенным контурами регулируется изменением взаимной индукции между катушками L_{10} и L_{11} . В схеме исследуемого выходного каскада включены приборы, посредством которых могут измеряться следующие величины:

- напряжение смещения E_g ;
- постоянная составляющая тока управляющей сетки I_{g0} ;
- постоянная составляющая тока экранной сетки I_{g20} ;
- постоянная составляющая тока анода I_{a0} .

Также на макете имеются гнезда с надписью «В.С. напряжение» для подключения ламповых вольтметров В3-25, предназначенных для измерения величины переменных напряжений на аноде и управляющей сетке выходного каскада, а также на части сопротивления эквивалента антенны. К этим же гнездам может подключаться осциллограф или анализатор спектра.

3. Выполнение работы

В таблице 1 представлены результаты исследования поведения ГВВ в точке резонанса при изменении угла поворота ротора конденсатора C_{27} .

Таблица 1 – Результаты исследования поведения ГВВ в точке резонанса при изменении угла поворота ротора конденсатора C_{27}

Отсчёт по шкале α , дел	Измеряемые величины				Вычислить в точке резонанса				Примечание
	Ia0, мА	Ig0, мА	Ig20, мА	Ua эфф, В	P0, Вт	P1, Вт	Pa, Вт	η , %	
10	55	0,42	6	42	26	0,0128	25,837	0,0494	1,38
11	56	0,5	6	57	26	0,0235	26,296	0,0895	1,38
12	56	0,6	8	80	26	0,0464	26,274	0,1762	1,84
13	43	0,7	16	100	20	0,0725	20,138	0,3586	3,68
14	18	1	30	105	8,5	0,0799	8,3801	0,9443	6,9
15	8	0,7	34	80	3,8	0,0464	3,7136	1,2334	7,82
16	20	0,4	24	100	9,4	0,0725	9,3275	0,7709	5,52
17	30	0,3	18	95	14	0,0654	14,035	0,4638	4,14
18	37	0,2	13	90	17	0,0587	17,331	0,3375	2,99
19	42	0,2	10	85	20	0,0524	19,688	0,2652	2,3
20	44	0,2	8	80	21	0,0464	20,634	0,2243	1,84

В таблице 2 представлены результаты исследования ГВВ в точке резонанса промежуточного контура при настройке антенного контура путём изменения индуктивности.

Таблица 2 – Результаты исследования ГВВ в точке резонанса промежуточного контура при настройке антенного контура путём изменения индуктивности

Отсчёт по шкале α , дел	Ia0, мА	Ig0, мА	Ig20, мА	IA эфф, мА	Ua эфф, В	Примечание
24	30	0,3	18	0,38	78	$f = 4 \text{ МГц};$ $E_a = 470 \text{ В};$ $E_{g2} = 230 \text{ В};$ $E_g = -55 \text{ В};$ $U_g \geq 50 \text{ В}.$
26	27	0,3	20	0,4	75	
28	26	0,4	22	0,45	70	
30	27	0,4	20	0,52	66	
32	34	0,4	16	0,64	62	
34	44	0,3	10	0,7	54	
36	48	0,2	6	0,62	42	
38	49	0,2	6	0,5	40	
40	50	0,2	6	0,41	41	
42	50	0,2	6	0,36	46	
44	50	0,2	6	0,32	50	

В таблице 3 представлены результаты исследования ГВВ в точке резонанса промежуточного и антенного контура (ПК и АК) при изменении величины связи между ними.

Таблица 3 – Результаты исследования ГВВ в точке резонанса промежуточного и антенного контура (ПК и АК) при изменении величины связи между ними

M, дел	Измеряемые величины					Вычислить						Примечание
	Ia0, мА	Ig0, мА	Ig20, мА	Ua эфф, В	IA эфф, мА	PA, Вт	R _{ПК} , Вт	P ₁ , Вт	η_{PK} , %	P ₀ , Вт	η , %	
0	44	0,2	8	80	23	0,0185	0,0464	0,0649	28,532	20,7	0,08953	$f = 4 \text{ МГц};$ $E_a = 470 \text{ В};$ $E_{g2} = 230 \text{ В};$ $E_g = -55 \text{ В};$ $U_g \geq 50 \text{ В}.$
1	44	0,2	9	80	94	0,3093	0,0464	0,3556	86,96	20,7	1,49545	
2	43	0,2	10	80	200	1,4	0,0464	1,4464	96,794	20,2	6,92726	
3	40	0,2	11	78	320	3,584	0,0441	3,6281	98,785	18,8	19,0638	
4	37	0,2	14	74	400	5,6	0,0397	5,6397	99,296	17,4	32,2024	
5	35	0,3	16	68	490	8,4035	0,0335	8,437	99,603	16,5	51,0851	
6	36	0,3	14	64	580	11,774	0,0297	11,804	99,749	16,9	69,5863	
7	40	0,3	12	60	660	15,246	0,0261	15,272	99,829	18,8	81,0957	
8	44	0,3	8	54	710	17,644	0,0211	17,665	99,88	20,7	85,3167	
9	47	0,3	7	46	700	17,15	0,0153	17,165	99,911	22,1	77,6369	
10	48	0,3	6	38	660	15,246	0,0105	15,256	99,931	22,6	67,5798	
11	50	0,3	6	32	620	13,454	0,0074	13,461	99,945	23,5	57,2511	
12	50	0,3	6	28	600	12,6	0,0057	12,606	99,955	23,5	53,617	

4. Рабочие формулы

Мощность, потребляемая от источника питания определяется по формуле:

$$P_0 = I_{a0}E_a, \quad (1)$$

где I_{a0} – постоянная составляющая анодного тока;

E_a – напряжение каскада от источника питания.

Полезная мощность, которую лампа отдаёт в нагрузку определяется по формуле:

$$P_1 = \frac{U_{a\text{ эфф}}^2}{R_{\text{эхх}}}, \quad (2)$$

где $U_{a\text{ эфф}}$ – эффективное напряжение на промежуточном контуре;

$R_{\text{эхх}} = 138 \text{ кОм}$ – эквивалентное сопротивление ненагруженного промежуточного контура.

Мощность, рассеиваемая на аноде лампы определяется по формуле:

$$P_a = P_0 - P_1. \quad (3)$$

Электронный КПД:

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} * 100\%. \quad (4)$$

Мощность, рассеиваемая на экранной сетке:

$$P_{g20} = I_{g20}E_{g2}, \quad (5)$$

где I_{g20} – постоянная составляющая тока экранной сетки;

E_{g2} – второе напряжение смещения.

Мощность, рассеиваемая на промежуточном контуре определяется по формуле:

$$P_{\text{пк}} = \frac{U_{a\text{ эфф}}^2}{R_{\text{эхх}}}. \quad (6)$$

Мощность, передаваемая в антенну, определяется по формуле:

$$P_A = I_{A\text{ эфф}}R_A, \quad (7)$$

где $I_{A\text{ эфф}}$ – эффективное значение тока, протекающего в АК;

$R_A = 35 \text{ Ом}$ – сопротивление эквивалента антенны в исследуемой схеме.

Полезная колебательная мощность, отдаваемая лампой, определяется по формуле:

$$P_1 = P_A + P_{\text{пк}}. \quad (8)$$

Мощность, потребляемая от источника питания, определяется по формуле:

$$P_0 = I_{a0}E_a. \quad (9)$$

КПД промежуточного контура определяется по формуле:

$$\eta_{\text{пк}} = \frac{P_A}{P_A + P_{\text{пк}}} * 100\%. \quad (10)$$

КПД генератора определяется по формуле:

$$\eta = \frac{P_A}{P_0} * 100\%. \quad (11)$$

5. Примеры вычислений

По формуле (1): $P_0 = 55 * 10^{-3} * 470 = 26$ Вт.

По формуле (2): $P_1 = \frac{42^2}{138000} = 0,0128$ Вт.

По формуле (3): $P_a = 26 - 0,0128 = 25,837$ Вт.

По формуле (4): $\eta = \frac{0,0128}{26} * 100\% = 0,0494\%$.

По формуле (5): $P_{g20} = 6 * 10^{-3} * 230 = 1,38$ Вт.

По формуле (6): $P_{pk} = \frac{80^2}{138000} = 0,0464$ Вт.

По формуле (7): $P_A = 23 * 10^{-3} * 35 = 0,0185$ Вт.

По формуле (8): $P_1 = 0,0185 + 0,0464 = 0,0649$ Вт.

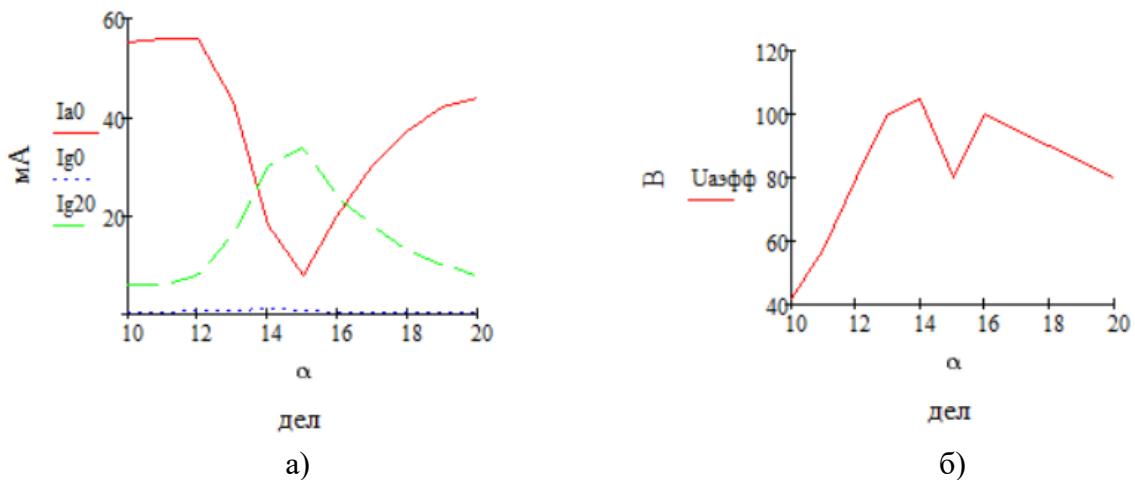
По формуле (9): $P_0 = 44 * 10^{-3} * 470 = 20,7$ Вт.

По формуле (10): $\eta_{pk} = \frac{0,0185}{0,0185+0,0464} * 100\% = 28,532\%$.

По формуле (11): $\eta = \frac{0,018}{20,7} = 0,08953\%$.

6. Графики

На рисунке 1 (а – г) показаны графики зависимости токов, напряжения, мощности и КПД от угла поворота ротора конденсатора С₂₇, иллюстрирующий важность настройки усилителя на частоту возбуждения, составленный по таблице 1.



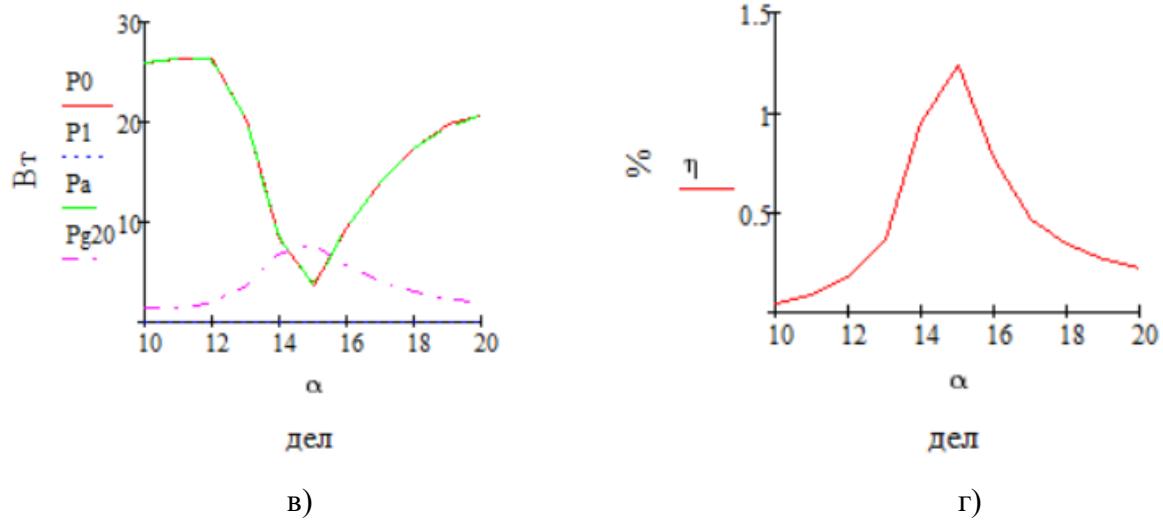


Рисунок 1 – а) Зависимость $I_{a0} = f(\alpha)$, $I_{g0} = f(\alpha)$, $I_{g20} = f(\alpha)$; б) зависимость $U_{a\text{эфф}} = f(\alpha)$; в) зависимость $P_0 = f(\alpha)$, $P_1 = f(\alpha)$, $P_a = f(\alpha)$, $P_{g20} = f(\alpha)$; г) зависимость $\eta = f(\alpha)$.

На рисунке 2 (а – б) показаны графики зависимости токов, эффективного тока и напряжения от угла поворота ротора индуктивности АК при малой величине связи между АК и ПК, составленные по таблице 2.

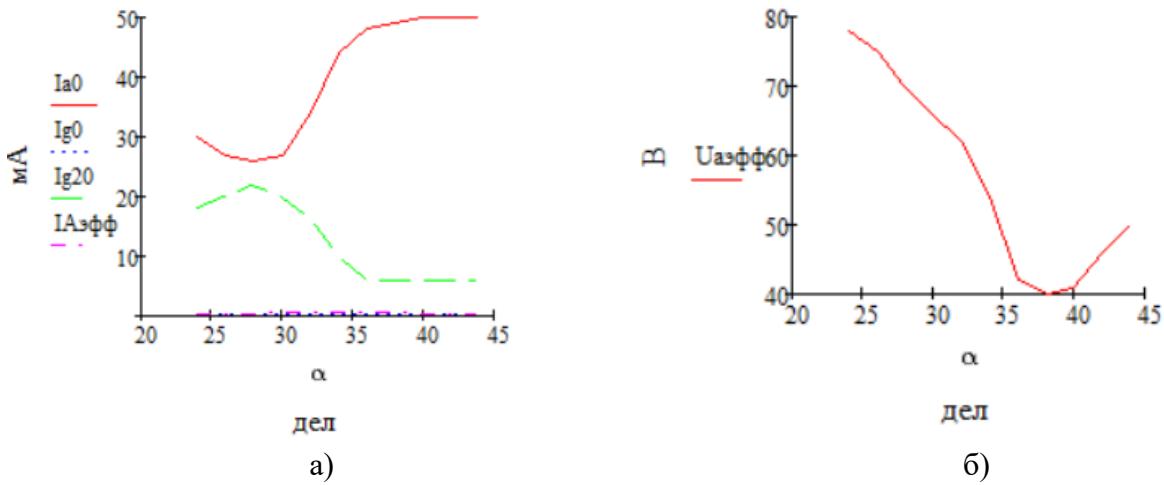


Рисунок 2 – а) Зависимость $I_{a0} = f(\alpha)$, $I_{g0} = f(\alpha)$, $I_{g20} = f(\alpha)$, $I_{A\text{эфф}} = f(\alpha)$; б) зависимость $U_{a\text{эфф}} = f(\alpha)$.

На рисунке 3 (а – г) показаны графики зависимостей токов, напряжений, мощностей и КПД от величины связи АК и ПК в точке резонанса, составленные по таблице 3.

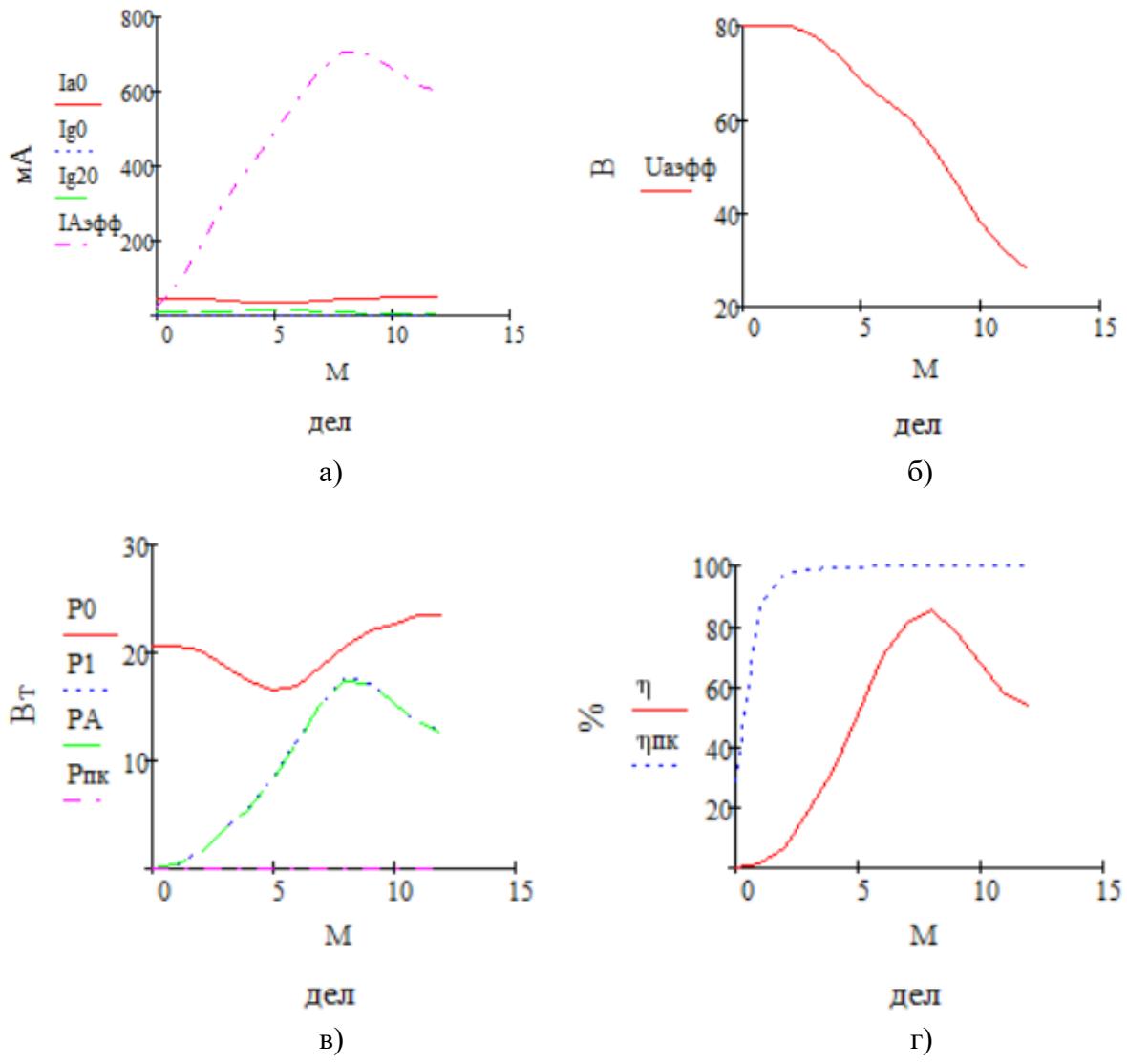


Рисунок 3 – а) Зависимость $I_{a0} = f(M)$, $I_{g0} = f(M)$, $I_{g20} = f(M)$, $I_{A\text{эфф}} = f(M)$; б) зависимость $U_{\text{аэф}} = f(M)$; в) зависимость $P_0 = f(M)$, $P_1 = f(M)$, $P_A = f(M)$, $P_{\text{ппк}} = f(M)$; г) зависимость $\eta = f(M)$, $\eta_{\text{ппк}} = f(M)$.

6. Выводы

В результате выполнения лабораторной работы были изучены энергетические режимы усилителя мощности со сложной схемой выхода и освоены методики настройки высокочастотного генератора на максимальную мощность в антенну.

По таблице 1 были построены графики, представленные на рисунке 1. Исходя из графиков резонансной частоте промежуточного контура соответствует угол поворота ротора конденсатора С₂₇ $\alpha = 15$ дел, при этом постоянная составляющая анодного тока изменяется

примерно по параболическому характеру и в точке резонанса соответствует минимальному значению $I_{a0} = 8$ мА. При этом постоянная составляющая тока экранной сетки имеет максимальное значение $I_{g20} = 34$ мА, также постоянная составляющая тока управляющей сетки I_{g0} минимальна и стремится к нулю. Исходя из рисунка 1(б) в точке резонанса наблюдается провал напряжения на промежуточном контуре $U_{a\text{эфф}} = 80$ В. Исходя из рисунка 1 (в) в точке резонанса наблюдается минимум значения мощности, подводимой к генератору и рассеиваемой на аноде лампы, $P_0 = P_a = 3,76$ Вт, при этом графики изменения данных мощностей совпадают. При этом мощность, рассеиваемая на экранной сетке, мала и имеет выраженный максимум в точке резонанса равный $P_{g20} = 7,82$ Вт. Полезная мощность чрезвычайно мала. КПД имеет максимум в точке резонанса и равно $\eta = 1,2334\%$.

На рисунке 2 представлены графики зависимостей токов и напряжения от настройки антенного контура в точке резонанса при малой величине связи между антенным контуром и промежуточным. Исходя из графиков, представленных на рисунке 2(а) постоянная составляющая тока анода с увеличением угла поворота ротора индуктивности сначала плавно уменьшается, при этом наблюдается минимум в точке $\alpha = 28$ дел, $I_{a0} = 26$ мА. Далее величина тока возрастает и выходит на установившееся значение в точке $\alpha = 40$ дел, $I_{a0} = 50$ мА. Графики постоянной составляющей анодного тока и постоянной составляющей тока экранной сетки практически симметричны. Максимум в точке $\alpha = 28$ дел соответствует $I_{g20} = 22$ мА. Установившееся значение в точке $\alpha = 36$ дел, $I_{g20} = 6$ мА. При этом постоянные составляющие тока управляющей сетки и эффективного тока АК чрезвычайно малы. С учётом погрешности оптимальный угол поворота ротора индуктивности АК определяется как среднее арифметическое двух точек и составляет $\alpha = 38$ дел. Оптимальная точка соответствует минимуму эффективного напряжения.

Исходя из рисунка 3(а) постоянная составляющая тока эквивалента антенны почти линейно возрастает с увеличением связи и имеет максимум равный $I_{A\text{эфф}} = 710$ мА в точке $M = 8$ дел. При этом эффективное напряжение уменьшается, что видно из рисунка 3(б). Из рисунка 3 (в) видно, что графики мощности эквивалента антенны и полезной мощности совпадают, и имеют максимум в точке $M = 8$ дел, $P_1 = P_A = 17,644$ Вт. В точке $M = 5$ дел наблюдается минимум мощности, потребляемой от источника питания $P_0 = 16,45$ Вт. При этом мощность промежуточного контура чрезвычайно мала.

Исходя из рисунка 4 (г) КПД промежуточного контура с увеличением связи быстро возрастает и выходит на установившееся значение в точке $M = 3$ дел $\eta_{pk} \approx 99\%$, при этом в точке $M = 8$ наблюдается ярко выраженный максимум КПД генератора равный $\eta = 85,317\%$, далее идёт на спад.

Таким образом, настройка эквивалента антенны на максимальную мощность

осуществляется путём поиска оптимальной точки резонанса, фиксируемой с помощью нагрузочных характеристик.