

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського”

Кафедра конструювання ЕОА

Лабораторна робота №3

з курсу «Електронна компонентна база РЕА і ТКС»  
на тему «Дослідження конденсаторів змінної ємності»

Виконав

Студент гр. ДК-12

Дем'янчук Т. М.

Керівник: Лисенко О.І

Захищено з оцінкою \_\_\_\_\_

Дата «\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

Київ – 2022

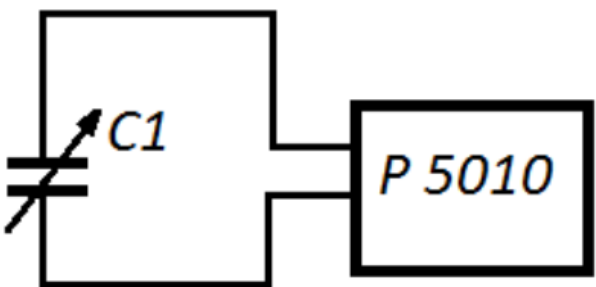
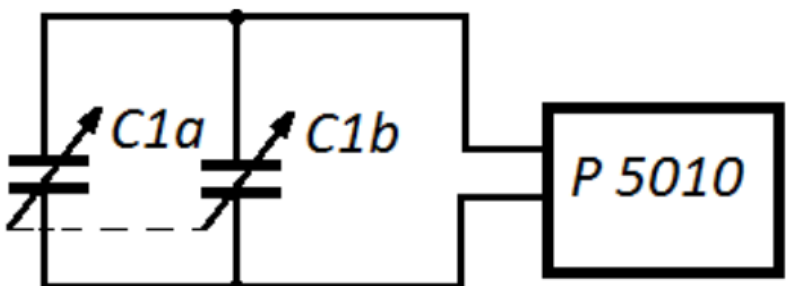
## Завдання

1. Дослідити конструкції конденсаторів змінної ємності з повітряним діелектриком (одно та двосекційного)
2. Дослідити конструкцію конденсаторів змінної ємності з керамічним діелектриком КПК-3.
3. Привести зовнішній вигляд та основні характеристик (взяти з довідника або ТУ).
4. Провести вимірювання залежності зміни ємності від кута переміщення.
5. Побудувати графіки. За графіком залежності ємності від кута переміщення визначити характер зміни ємності (прямоємністний, прямочастотний, прямохвильовий).
6. Визначити добротність конденсаторів і добротність утвореного коливального контуру (рис.4)
8. Зробити висновки.

### Умови проведення дослідження

Місце проведення досліджень	Лабораторія 329-12
Прилади	Вимірювальний міст Р5010 №00077
Температура	20°С
Н, мм.рт.ст.	743

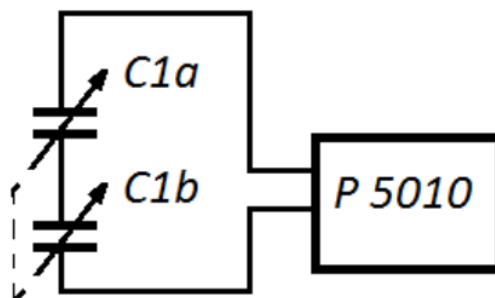
### Схеми вимірювання

Рисунок 1	
Рисунок 2. Паралельне включення секцій конденсатора змінної ємності	

ДК12.000000.001 Д1

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження коенденсаторів змінної ємності			Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Дем'янчук Т. М.								1	19
Перевір.					НТУУ „КПІ”					
Реценз.										
Н. Контр.										
Затверд.	Лисенко І.О.									

Рисунок 3.  
Послідовне  
включення  
секцій  
конденсатора  
змінної  
ємності



## 1. Дослідити конструкції конденсаторів змінної ємності з повітряним діелектриком (одно та двосекційного)

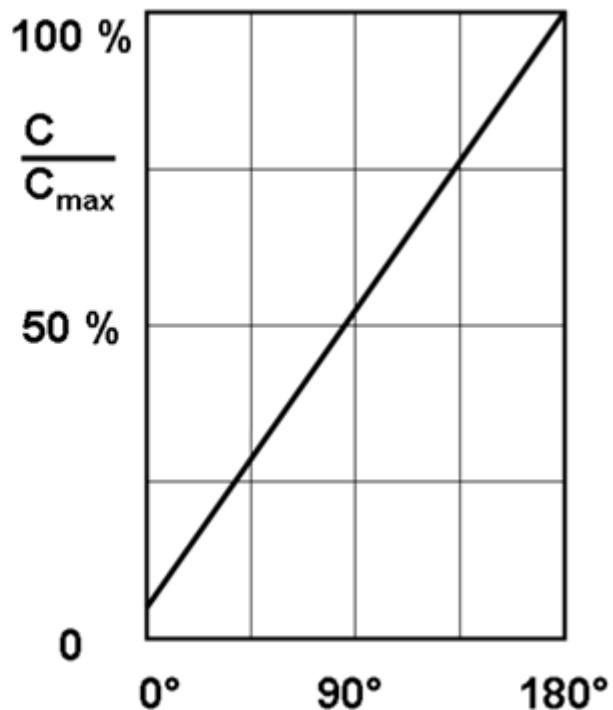
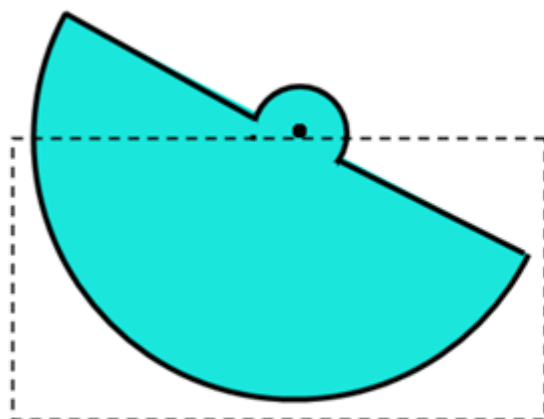
### Загальний огляд змінних конденсаторів.

Конденсатор змінної ємності, КЗЄ — конденсатор, електрична ємність якого може змінюватися механічним способом, або електрично, під дією зміни напруги, або при зміні температури. Змінні конденсатори зазвичай застосовуються у коливальних контурах для зміни їх резонансної частоти — наприклад, у входних колах радіоприймачів, у підсилювальних каскадах і генераторах високої частоти, антенних пристроях. Ємність змінних конденсаторів зазвичай змінюється у межах від одиниць до декількох десятків або сотень пікофарад.

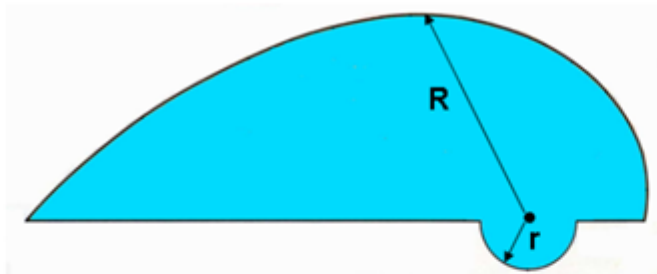
За залежністю ємності від кута повороту валу КЗЄ з механічним керуванням поділяються на:

1. лінійні, у яких ємність пропорційна куту повороту
2. прямочастотні, які дають лінійну зміну резонансної частоти коливального контуру;
3. прямохвильові, які дають лінійну зміну довжини хвилі.

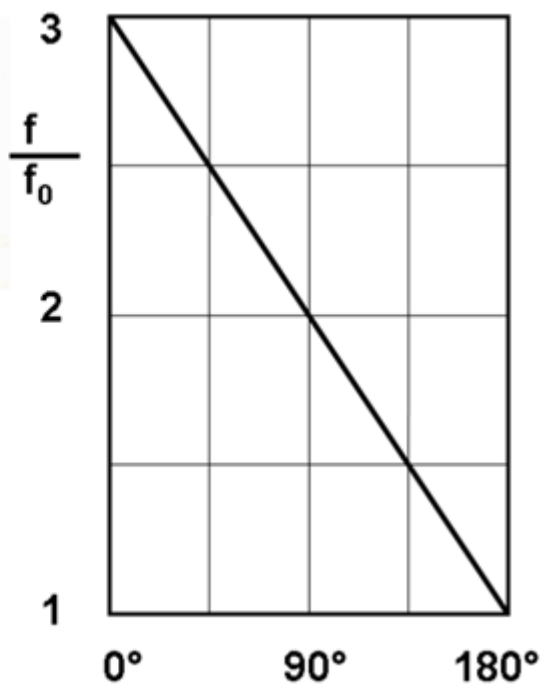
### Форма пластин КЗЄ з лінійною зміною ємності



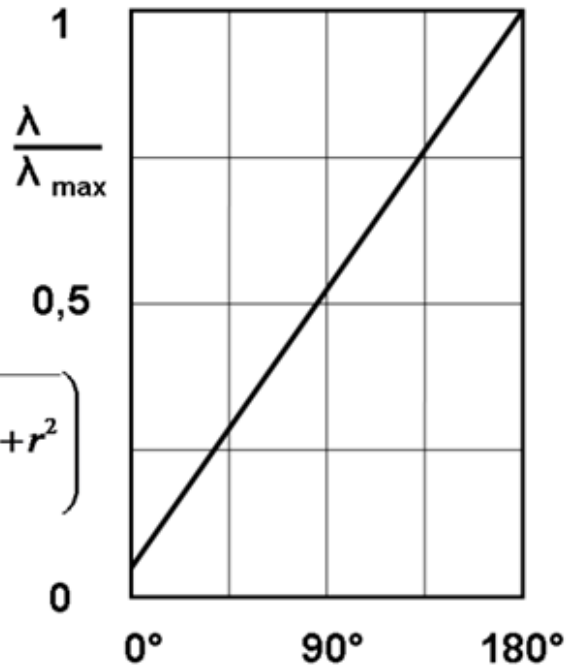
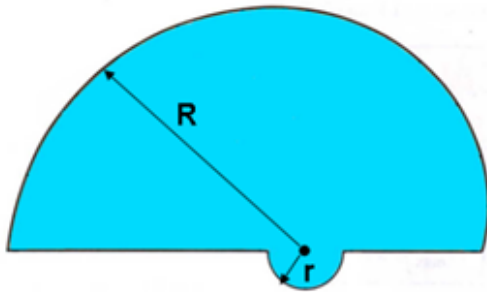
### Форма пластин «прямоуготного» КЗЄ



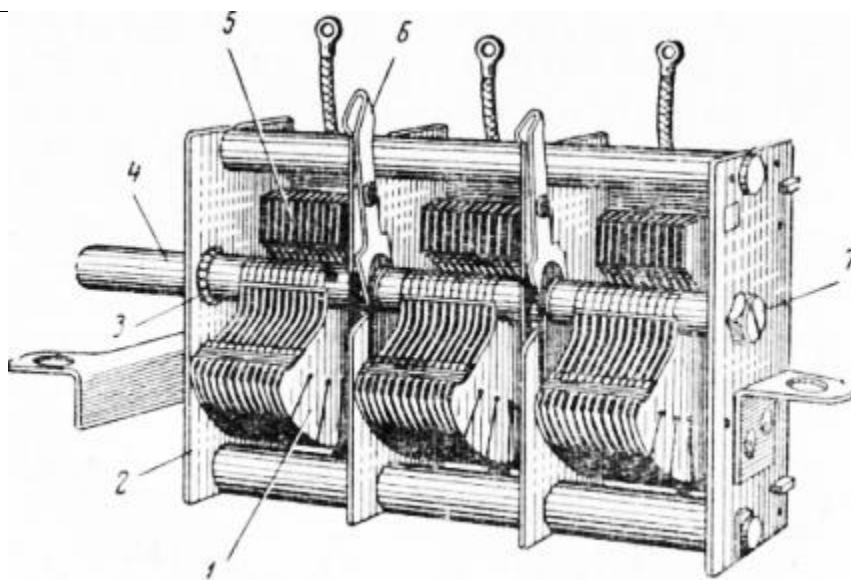
$$y = \left( \sqrt{(R_{max}^2 - r^2) \cdot \left( \frac{C_{max}}{C_0} \right)^{\frac{\alpha_0 - 180}{180}} + r^2} \right)$$



### Форма пластин «прямохвильового» КЗЄ



$$R = \left( \sqrt{(R_{\max}^2 - r^2) \cdot \left( \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_0} + \left[ 1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_{\max}} \right] \frac{\alpha}{\pi} \right)} + r^2 \right)$$



1 - ротор; 2 - корпус; 3 - підшипник; 4 - вісь ротора; 5 - статор; 6 - струмознімач; 7 - подп'ятник

Підставою конденсатора змінної ємності служить металевий корпус. До корпусу кріплять ротор і статор, причому майже у всіх конденсаторах статор ізолюваний від корпусу, а ротор електрично з'єднаний з ним. Для ізоляції статора в залежності від специфічних вимог, що пред'являються до конденсатору, застосовують високоякісні діелектрики: радіофарфор, пірофіліт, мікалексу, плавлений кварц і високочастотні сорти гетинакса.

Статорні і роторні пластини виготовляють з алюмінію, латуні, сталі і инвара, а вісь ротора - зі сталі, латуні, кераміки.

Обов'язковими елементами конденсатора змінної ємності є струмозйомники, які повинні забезпечити хороший контакт між ротором і корпусом конденсатора. Струмозйомники виготовляють у вигляді пружної вилки, гнучкої стрічки або 'щітки з бронзи або твердої латуні. На рисунку вище показана конструкція конденсаторного блоку радіомовного приймача, пластини якого зібрані методом карбування.

### Деякі інші відомості про конденсатори змінної ємності

Максимальна напруга

Напруга перевищення якої виведе конденсатор з ладу майже відразу, настає так званий пробій діелектрика. Робоча напруга залежить від якості та товщини діелектрика, що використовується в конденсаторі. Чим товстіше діелектрик, тим більшу напругу зможе витримати конденсатор, але разом з цим збільшується і габаритний розмір.

### Приклади конденсаторів змінної ємності



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

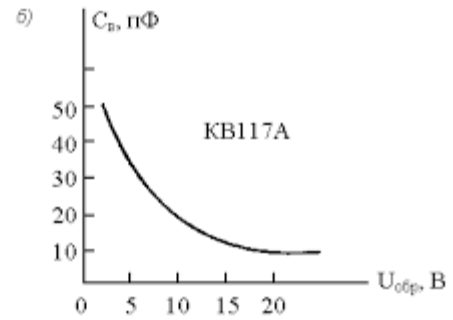
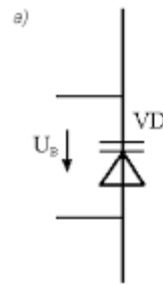
ДК12.000000.001 Д1

Анк

5



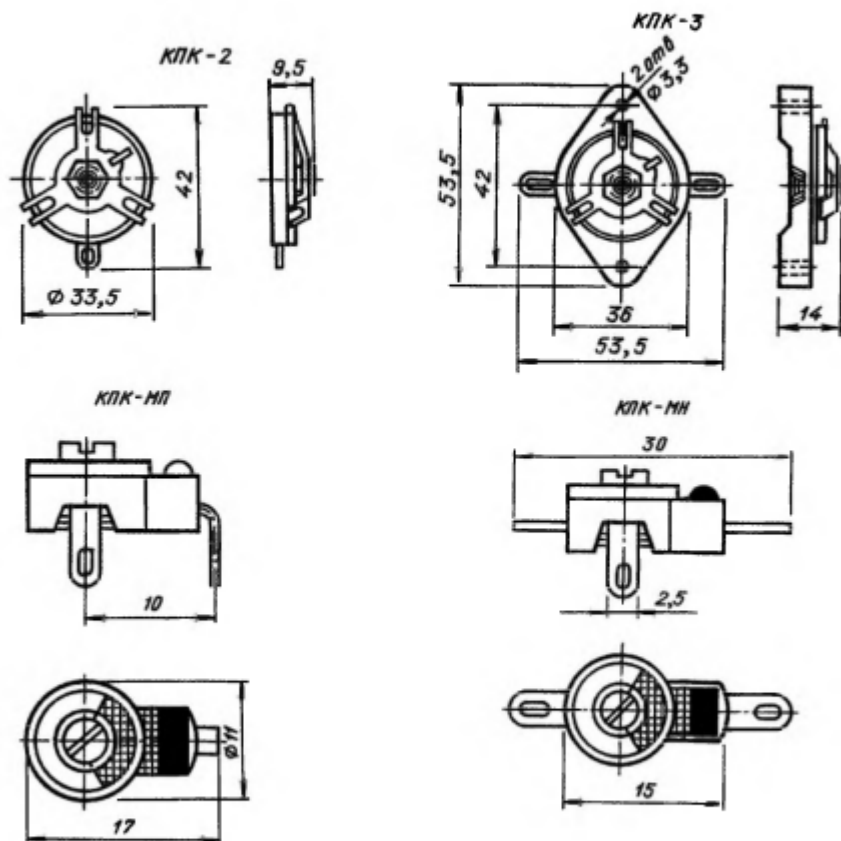
Варікап



## 2. Дослідими конструкцію конденсаторів змінної ємності з керамічним діелектриком КПК-3.

### Конденсаторы керамические подстроечные КПК-2, КПК-3, КПК-МП, КПК-МН

Конденсаторы КПК-2, КПК-3, КПК-МП, КПК-МН керамические подстроечные.  
Предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и импульсного токов.



Тангенс угла потерь, не более:

КПК-2, КПК-3 .....

0,002

КПК-МН, КПК-МП .....

0,0025

Сопротивление изоляции в нормальных климатических условиях, не менее .....

1000 МОм

Момент вращения ротора:

КПК-2, КПК-3 .....

$(49 - 246) \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$

КПК-МН, КПК-МП .....

$(9,8 - 98) \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК12.000000.001 Д1

Анк

7



Вид	Номинальная емкость, пФ		Температурный коэффициент емкости, 1/°C	Номинальное напряжение, В	Масса, г, не более
	минимальная	максимальная			
КПК-2	8	60	От $-200 \cdot 10^{-6}$ до $-800 \cdot 10^{-6}$	500	18
	10	100			
	25	150			
	75	200			
	125	250			
	200	325			
	275	375			
	350	450			
КПК-3	8	60	От $-200 \cdot 10^{-6}$ до $-800 \cdot 10^{-6}$	500	40
	10	100			
	25	150			
	75	200			
	125	250			
	200	325			
	275	375			
	350	450			
КПК-МП	1,5 2	2,5 7	Не нормируется	350	3
КПК-МН	4	15	От $-200 \cdot 10^{-6}$ до $-800 \cdot 10^{-6}$		
	5	20			
	6	25			
	8	30			

**Предельные эксплуатационные данные**

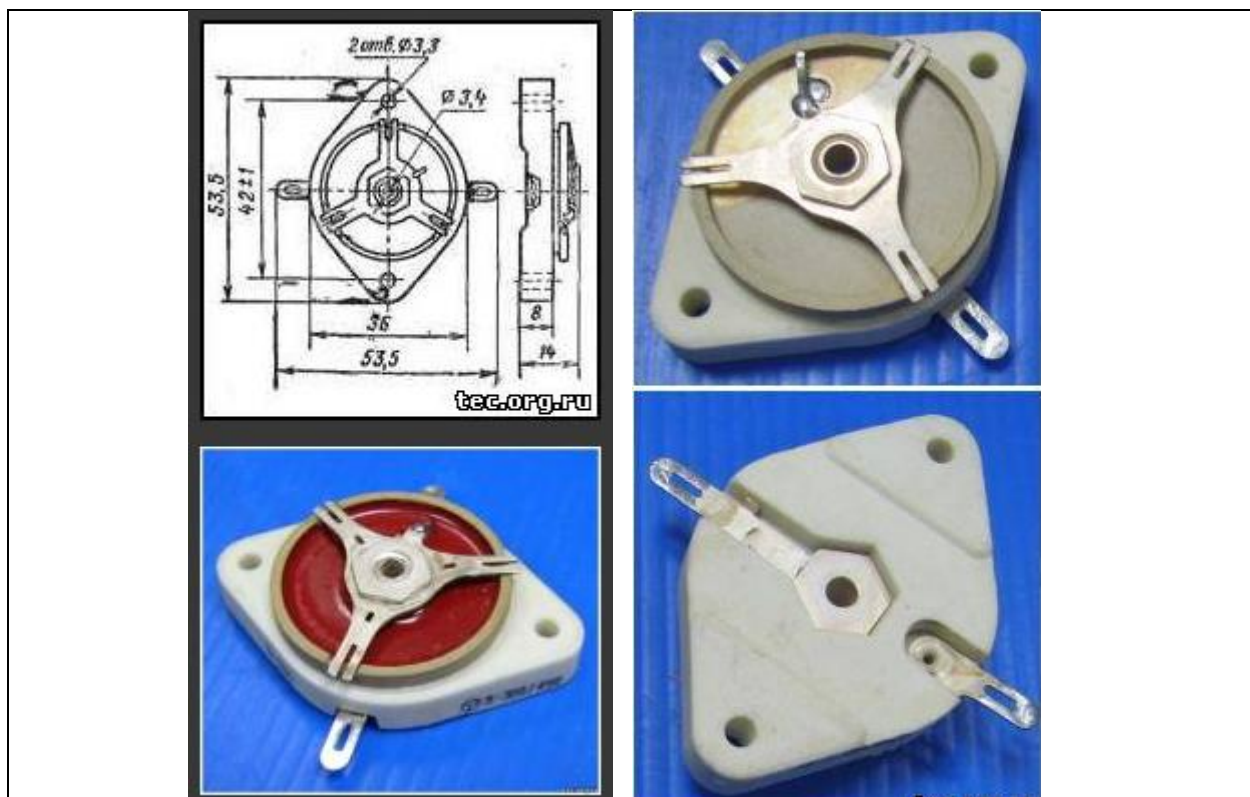
Температура окружающей среды .....	От $-60$ до $+85^{\circ}\text{C}$
Относительная влажность воздуха при температуре $+25^{\circ}\text{C}$ .....	До 80%
Пониженное атмосферное давление .....	До 6,7 гПа (5 мм рт. ст.)
Минимальная наработка:	
КПК-МН, КПК-МП .....	15000 ч
КПК-2, КПК-3 .....	10000 ч
Изменение емкости, не более:	
минимальной .....	$\pm 10\%$
максимальной .....	$-10\%$
Тангенс угла потерь, не более:	
КПК-2, КПК-3 .....	0,01
КПК-МН, КПК-МП .....	0,015
Сопротивление изоляции, не менее .....	500 МОм
Срок сохраняемости .....	12 лет
Сохраняемость паяемости выводов без дополнительного облуживания .....	12 мес

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК12.000000.001 Д1

Арк.

8



#### 4. Проводимо вимірювання залежності зміни ємності від кута переміщення

Ємність конденсатора в залежності від кута повороту його ротора. Ємність послідовно та паралельно включеного конденсатора.  $\text{tg}\delta = 0,001$  (виміряно)

Кут Обертання(°)	C1a (пФ)	C1b (пФ)	Послідовно C1a + C1b (пФ)	Паралельно C1a + C1b (пФ)
0	11.3	10.88	5.66	22.18
10	13.43	14.93	6.83	28.36
20	22.29	21.25	12.01	43.54
30	28.59	30.51	13.91	59.1
40	35.18	37.76	18.77	72.94
50	46.29	46.9	21.78	93.19
60	54.55	54.7	27.59	109.25
70	66.61	67.7	32.09	134.31
80	79.67	78.37	38.31	158.04
90	92.92	91.3	43.3	184.22
100	105.6	104.7	51.71	210.3
110	121.7	119.2	58.97	240.9
120	141	135.4	69.15	276.4

130	160.2	151.1	78.86	311.3
140	181.3	174.3	88.77	355.6
150	208	192.7	98.61	400.7
160	228.1	216.5	109.5	444.6
170	258.9	246.9	123.7	505.8
180	283.3	273.7	138.9	557

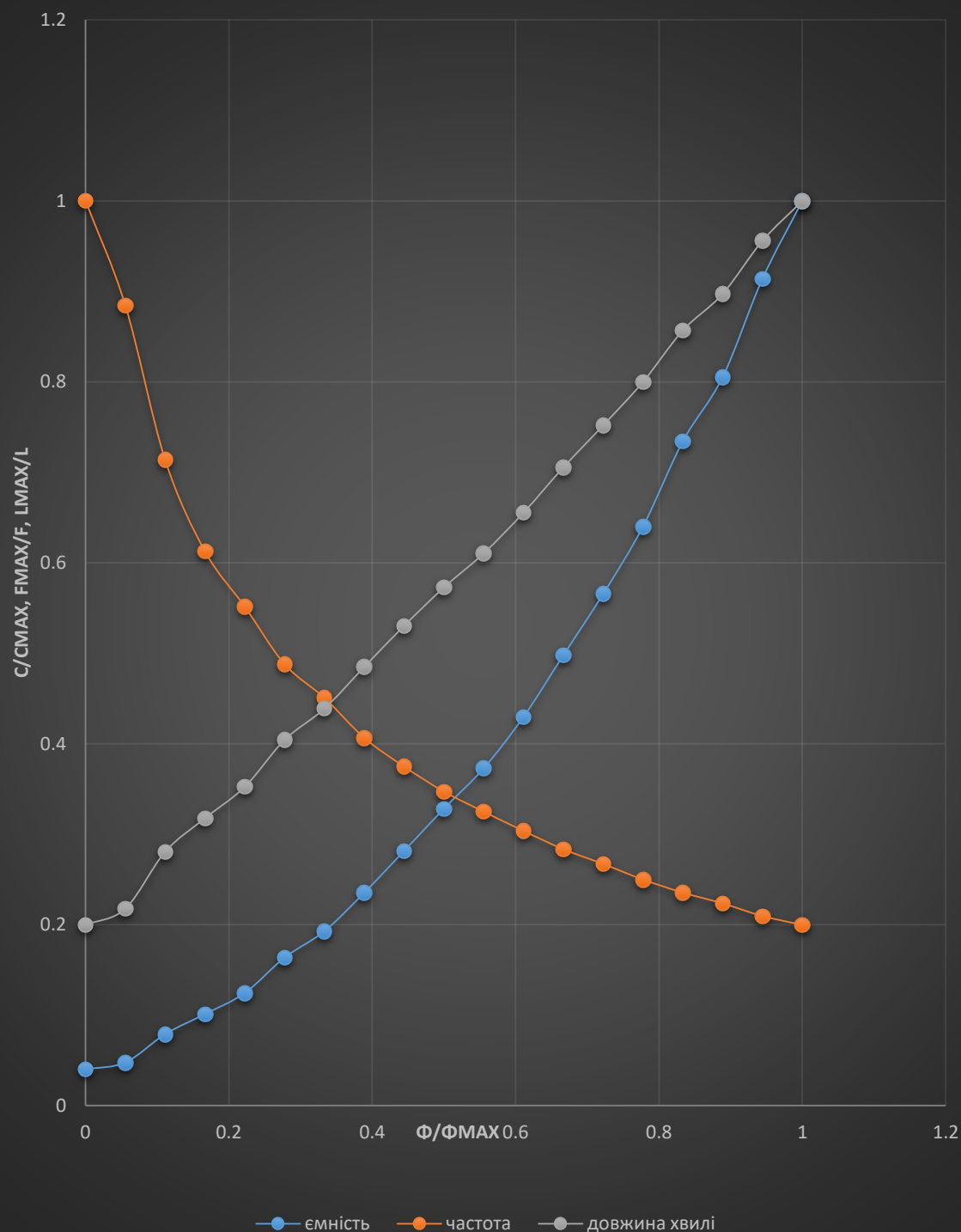
КПК-3 (з керамічним діелектриком). Схема Рисунок 1. $\text{tg}\delta = 0,009$					
Кут	C1 пф $\text{tg}\delta = 0,009$				C1 пф (середнє)
0	7,92	7,38	7,9	7,89	7.7725
10	18,79	18,9	18,57	18,98	18.81
20	37,75	37,84	37,58	37,8	37.7425
30	53,57	54,32	53,88	55,36	54.2825
40	73,0	73,41	74,51	73,91	73.7075
50	90,94	90,3	90,7	91,7	90.91
60	106,9	106,7	106,6	106,5	106.675
70	116,5	116,6	116,5	116,4	116.5
80	121,9	121,8	121,8	121,7	121.8
90	126,0	125,9	126,1	125,9	125.975
100	137,5	137,9	137,9	137,7	137.75
110	149,9	149,5	149,9	149,9	149.8
120	156,5	157,1	156,9	156,6	156.775
130	170,5	170,5	170,5	170,5	170.5
140	184,5	184,1	184,0	184,0	184.15
150	198,4	198,5	198,7	198,7	198.575
160	201,7	201,5	201,7	201,6	201.625
170	205,7	205,5	205,7	205,6	205.625
180	208,9	209,1	208,9	209,1	209

					ДК12.000000.001 Д1	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

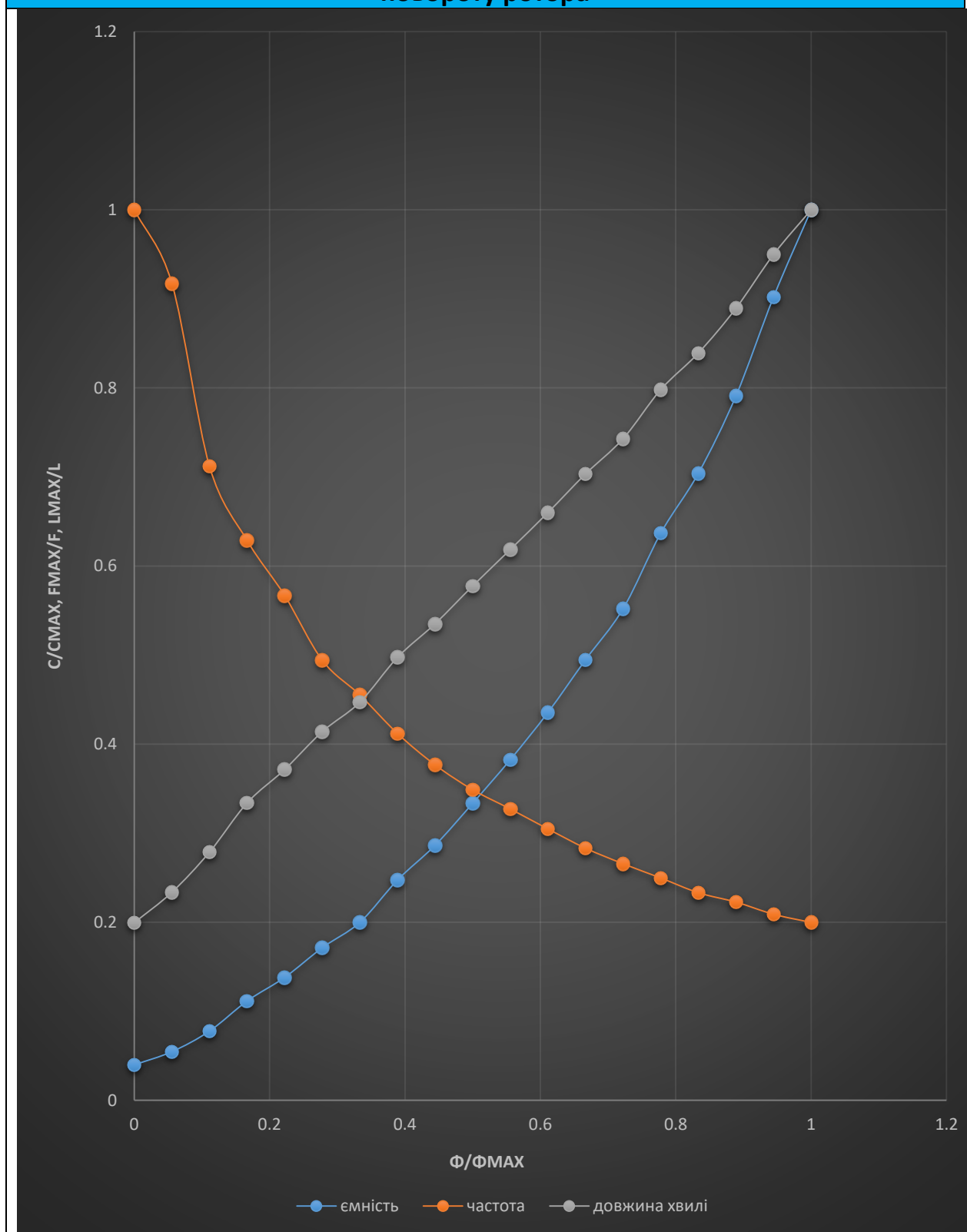
Одиночний КПЕ з повітряним діелектриком. Схема Рисунок 1. $\text{tg}\delta= 0,001$ (виміряно)					
Кут обертання (°)	C1 пф				C1 пф (середнє)
0	10,7	11,8	10,9	9,95	10.8375
10	15,1	15,3	13,7	15,11	14.8025
20	19,15	19,07	19,07	18,43	18.93
30	22,4	23,15	21,7	22,01	22.315
40	24,8	25,7	27,11	23,93	25.385
50	28,47	28,3	30,31	29,99	29.2675
60	35,11	37,99	34,19	34,15	35.36
70	39,5	39,7	40,99	41,0	40.2975
80	49,99	47,0	48,0	47,8	48.1975
90	54,93	51,97	55,04	57,89	54.9575
100	62,0	59,55	59,8	60,18	60.3825
110	68,98	69,7	70,4	67,99	69.2675
120	79,18	80,1	79,75	80,5	79.8825
130	93,0	98,7	90,1	90,9	93.175
140	112	113	108,7	104,3	109.5
150	121,1	127,0	125,4	121,9	123.85
160	146,6	138,7	139,1	139,7	141.025
170	168,4	163,6	161,9	167,0	165.225
180	179,9	177,1	177,9	178,5	178.35

**5. Побудувати графіки. За графіком залежності ємності від кута переміщення визначити характер зміни ємності (прямоємністний, прямочастотний, прямохвильовий).**

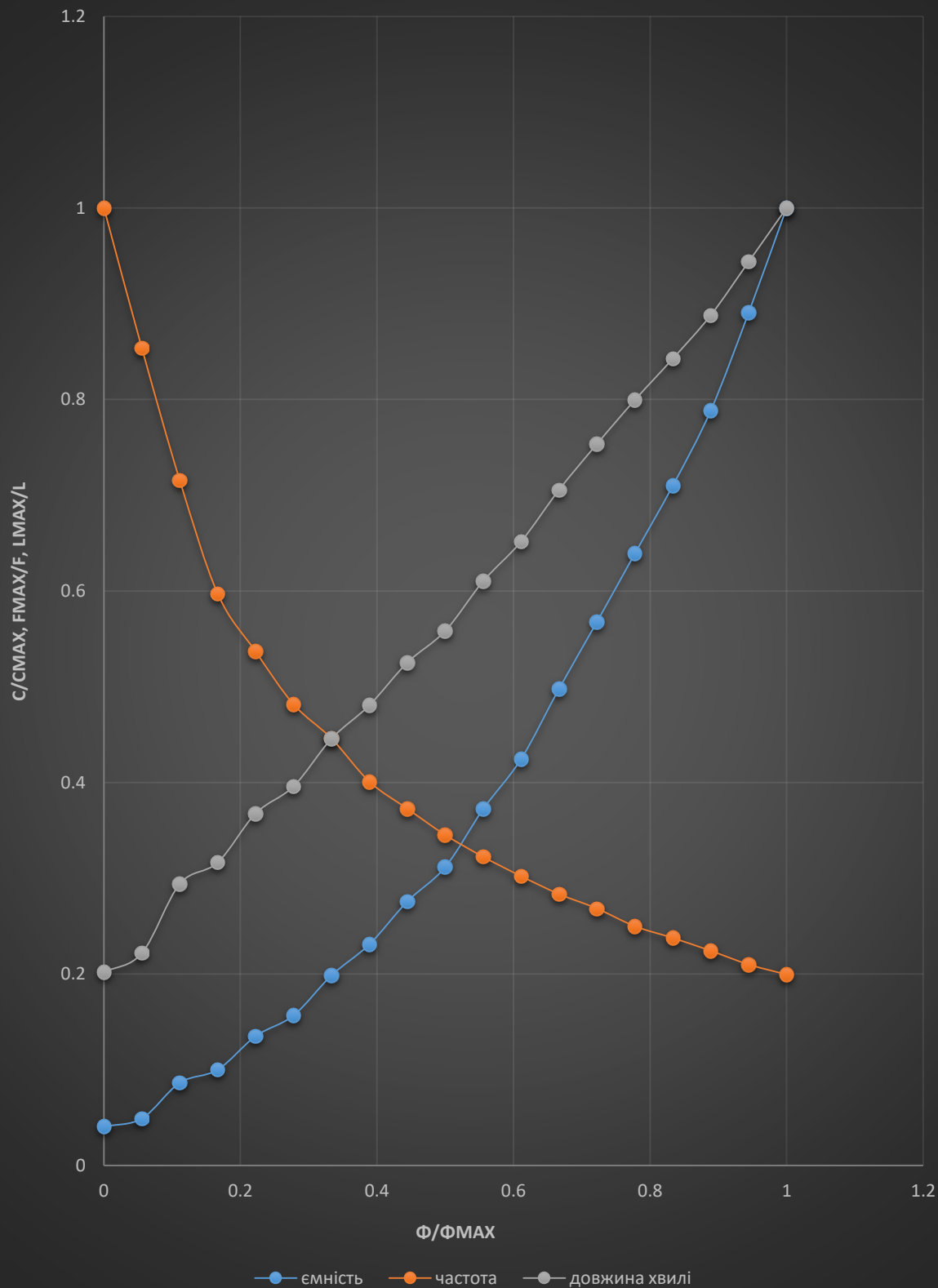
**Залежність ємності, частоти та довжини хвилі конденсатора С1а від кута повороту ротора**



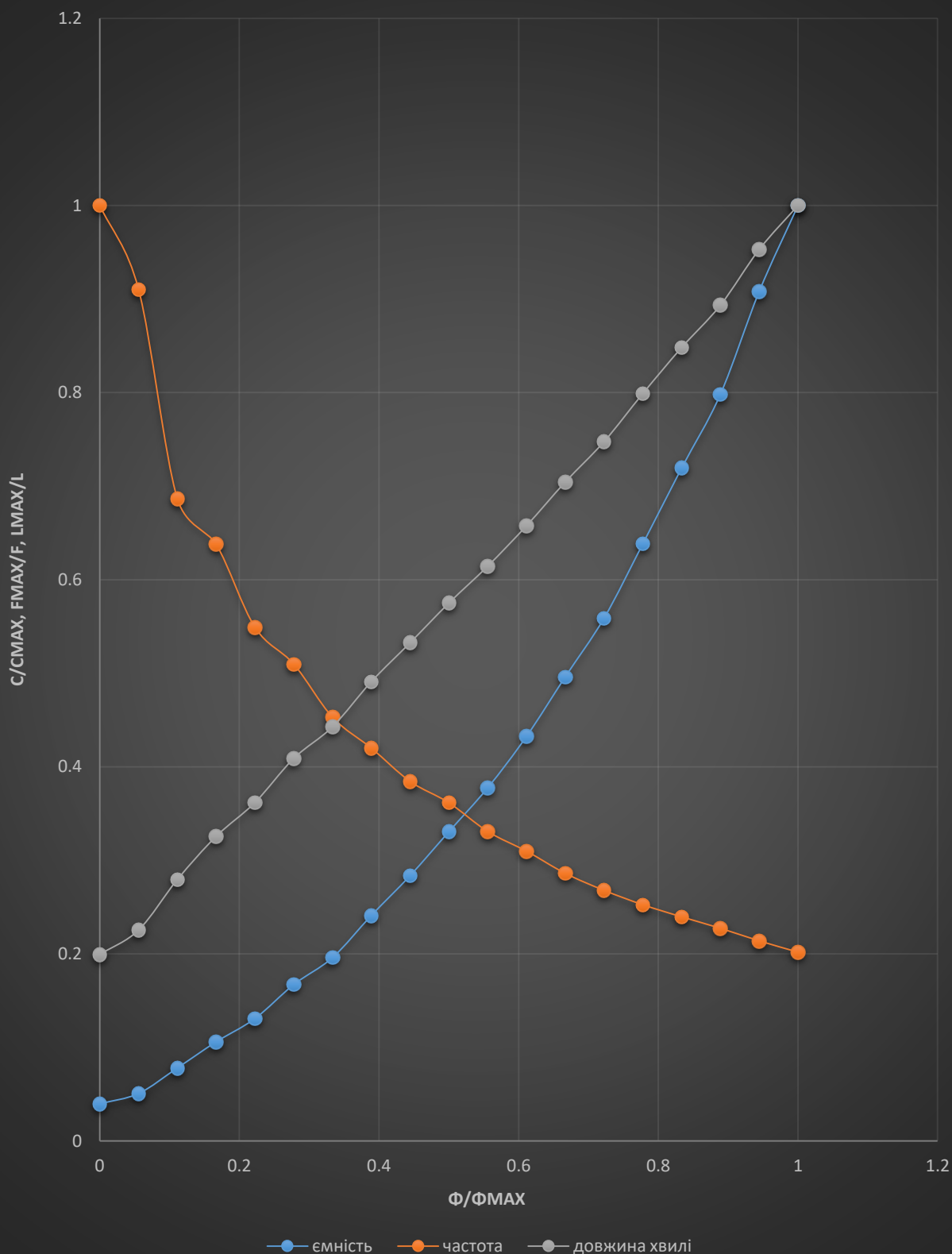
# Залежність ємності, частоти та довжини хвилі конденсатора C1b від кута повороту ротора



**Залежність ємності, частоти та довжини хвилі послідовно влючених конденсаторів C1a та C1b від кута повороту з'єднаних роторів**

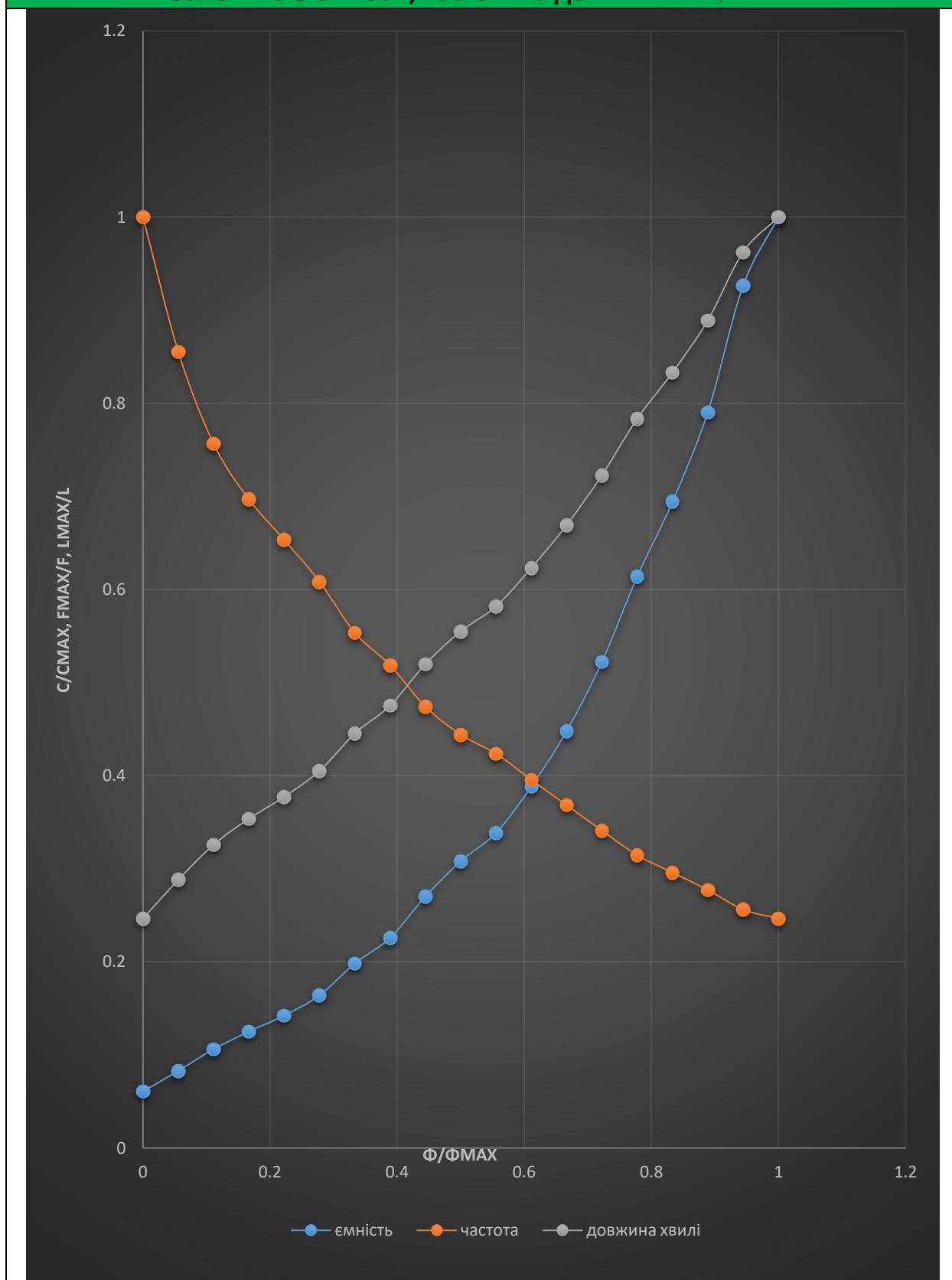


**Залежність ємності, частоти та довжини хвилі паралельно влючених конденсаторів C1a та C1b від кута повороту зєднаних роторів**

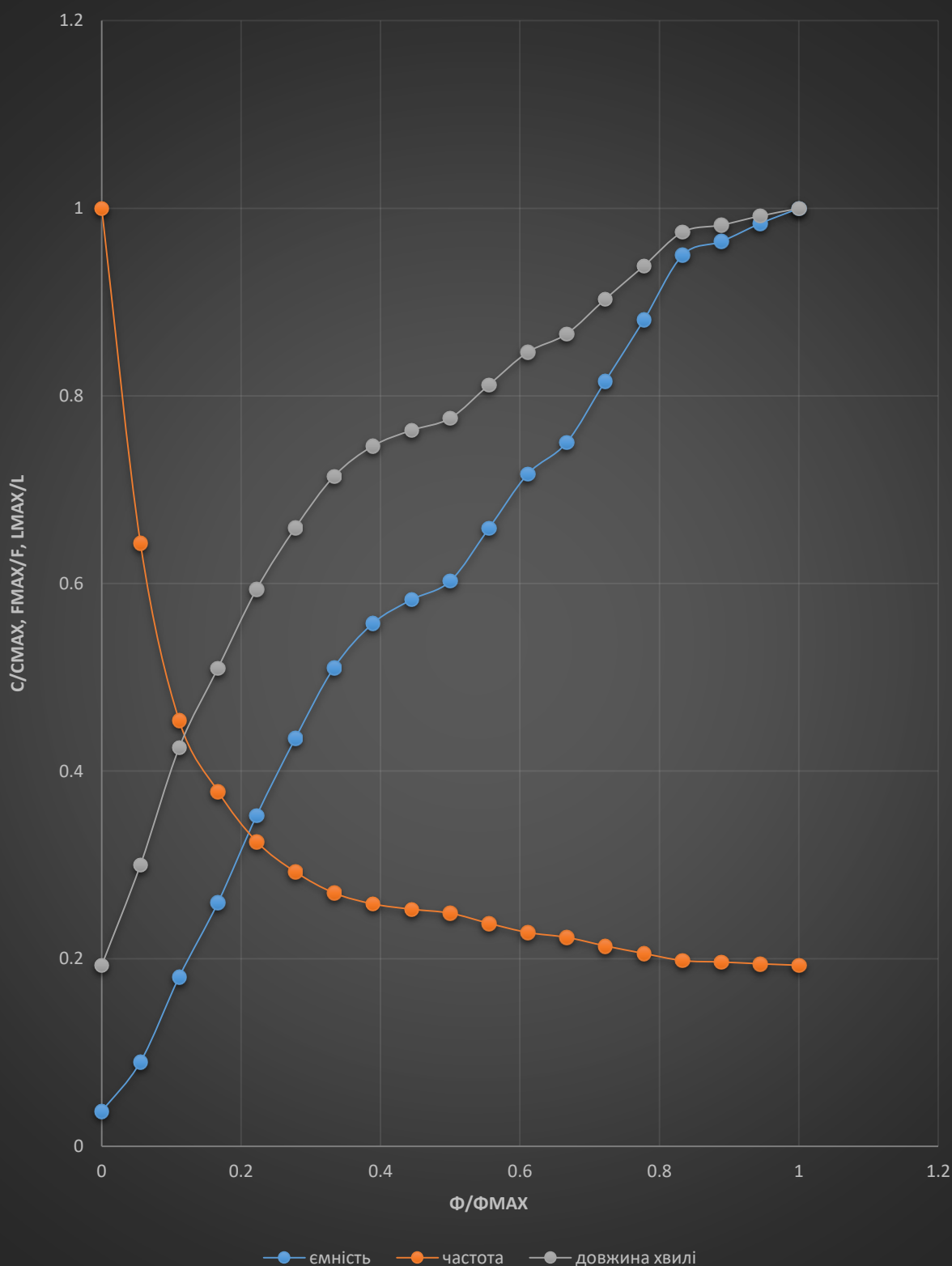




# Залежність ємності, частоти та довжини хвилі КПЕ



### Залежність ємності, частоти та довжини хвилі КПК-3



Прямочастотним є конденсатор КПЕ, це видно із графіка.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДК12.000000.001 Д1

Арк.

17

## 6.Визначити добротність конденсаторів і добротність утвореного коливального контуру (рис.4)

### Визначаємо добротність конденсаторів

Добротність конденсатора може бути визначена за формулою де,  $\tan \delta$  – тангенс діелектричних втрат конкретно взятого конденсатора

$$Q = \frac{1}{\tan \delta}$$

Найменування конденсатора

Величина добротності

$C_{\text{кпд}}$  – конденсатор повітряний двосекційни

$$Q_{C_{\text{кпд}}} = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{1}{0.001} = 1000$$

$C_{\text{кпк-з}}$  – конденсатор керамічний односекційний

$$Q_{C_{\text{кпк-з}}} = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{1}{0.009} = 111. (1)$$

$C_{\text{кпо}}$  – конденсатор повітряний односекційний

$$Q_{\text{кпо}} = \frac{1}{\tan \delta} = \frac{1}{0.001} = 1000$$

### Визначаємо добротність коливальних контурів

Добротність коливального контуру може бути визначена за формулою

$$Q_{LC} = \frac{Q_L \times Q_C}{Q_L + Q_C}$$

Коливальний контур утворений з котушки індуктивності  $L=40\text{мкГн}$  та конденсаторів  $C_{\text{кпд}}$ ,  $Q_{C_{\text{кпк-з}}}$ ,  $C_{\text{кпо}}$

Добротність відповідного коливального контура

$Q_{LC_{\text{кпд}}}$   
 $C_{\text{кпд}}$  – конденсатор повітряний двосекційни

$$Q_{LC_{\text{кпд}}} = \frac{Q_L \times Q_{C_{\text{кпд}}}}{Q_L + Q_{C_{\text{кпд}}}} = \frac{150 \times 1000}{150 + 1000} \approx 130.4$$

$Q_{LC_{\text{кпк-з}}}$   
 $C_{\text{кпк-з}}$  – конденсатор керамічний односекційний

$$Q_{LC_{\text{кпк-з}}} = \frac{Q_L \times Q_{C_{\text{кпк-з}}}}{Q_L + Q_{C_{\text{кпк-з}}}} = \frac{150 \times 111. (1)}{150 + 111. (1)} \approx 63.8$$

$C_{\text{кпо}} = \frac{Q_{LC_{\text{кпо}}}}{Q_L + Q_{C_{\text{кпо}}}} = \frac{150 \times 1000}{150 + 1000} \approx 130.4$	$Q_{LC_{\text{кпо}}} = \frac{Q_L \times Q_{C_{\text{кпо}}}}{Q_L + Q_{C_{\text{кпо}}}} = \frac{150 \times 1000}{150 + 1000} \approx 130.4$
--	---

## 8. Зробити висновки.

Протягом виконання даної лабораторної роботи було досліджено залежність ємності трьох конденсаторів змінної ємності від кута повороту ротора. Також було побудованні відповідні графіки залежності ємності від кута повороту ротора, всі наші конденсатори мають прямоємністний характер зміни ємності, в цьому не складно переконатися поглянувши на відповідні та підписані графіки вище у пункті №5. Може виникнути запитання, чому на графіках дещо не схожі на пряму лінію та чому наявні невеликі інтервали на яких ємність або зростає або спадає швидше? Справа в тому, що у нас змінні конденсатори і не існує ідеальних конденсаторів змінної ємності у яких би були ідеально виготовлені пластини на яких накопичується електричний заряд, у зв'язку з цим на деяких кутах повороту ротора певні частини пластин конденсатора знаходять то на ближчій то на більшій відстані одна від одної, а ємність конденсатора напряму залежить і від відстані між обкладками (занадто мала відстань між обкладками будь-якого конденсатора може спровокувати пробій його діелектрика та вивести його з ладу). Також на такі дещо швидші збільшення/зменшення ємності впливають і неточності при замірах, оскільки також не існує ідеально точних вимірювальних приладів, а також хоч і незначно, але все ж таки впливають провідники через які під'єднувались досліджувані конденсатори до вимірювальних приладів оскільки будь-які два провідника в ізоляції що знаходяться на деякій віддалі один від одного утворюють конденсатор хоч і малої, але все ж таки ємності. Також може виникнути запитання, чому жоден з графіків залежності ємності від кута обороту ротора не починається з початку координат? Відповідь на це питання дуже проста і полягає вона в особливості конструкції досліджуваних конденсаторів, тобто якби ми не старались (в межах розумного) ми не відведемо роторні пластини конденсатора змінної ємності далі від статорних в такій мірі, аби ємність конденсатора почала стрімко зростати до нуля, тобто нам не дозволить сама конструкція відвести роторні пластини далі ніж це можливо. Тобто, іншими словами, між роторними та статорними пластинами всеодно буде достатня відстань, аби утворився конденсатор певної ємності яку не складно виміряти звичайними вимірювальними приладами.