Laboratorium Montażu Zespołów Elektronicznych i Fotonicznych

Ćw. 6: Termografia

Zagadnienia do przygotowania:

- 1) Podstawowe mechanizmy transportu ciepła
- 2) Prawo Fouriera
- 3) Termografia w podczerwieni
- 4) Metody wytwarzania połączeń w elektronice mocy
- 5) Przewodność cieplna, a rezystancja cieplna
- 6) Spiekanie jako proces formowania złączy cieplnych w elektronice mocy

Polecana literatura:

- 1) Jan Felba, Montaż w Elektronice, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej,
- 2) Notatki z wykładu
- 3) Internet

Krótki zarys materiału omawianego podczas ćwiczenia:

W ramach ćwiczenia należy przeprowadzić serię pomiarów:

- 1) Analiza wpływu powierzchni na odczyt wartości temperatury zapoznanie z parametrem emisyjności kamera Flir TG267
- Detekcje obszarów nagrzewania wskazanego przez prowadzącego układu elektronicznego (tzw. "hot spot") – kamera Flir TG267
- Pomiar wartość rezystancji cieplnej struktury wskazanej przez prowadzącego kamera Flir A40m

PO WYKONANIU ĆWICZENIA NALEŻY USUNĄC PLIKI Z KAMERY TG267, A TAKŻE Z KOMPUTERA. NALEŻY TAKŻE UPORZĄDKOWAĆ STANOWISKO ORAZ WYŁĄCZYĆ WSZYSTKIE UŻYWANE URZĄDZENIA!

1) Analiza wpływu powierzchni na odczyt wartości temperatury – zapoznanie z parametrem emisyjności – kamera Flir TG267:

Na wstępie ćwiczenia należy zapoznać się z kamerą Flir TG267.



Zadaniem do zrealizowania jest ocena wpływu emisyjności powierzchni na odczyt wartości temperatury. W tym celu wykorzystujemy regulowany stolik grzejny o bardzo równomiernym rozkładzie temperatur. Obsługa stolika grzejnego:

Podłączony do prądu stolik uruchamiamy włącznikiem z przodu panelu. Aby nastawić temperature należy przytrzymać przycisk "SET" i jednocześnie używać przycisków "[^]" oraz "^v" aby zadać pożądaną wartość temperatury. Następnie należy odczekać na nagrzanie i stabilizację temperatury.

Na powierzchni stolika grzejnego umieszczona jest miedziana płyta, która w połowie jest pokryta warstwą anty odbiciową o znanej emisyjności – 0,98. Drugą częścią płytki jest miedz o nieznanej emisyjności. Wykorzystując ustawienia kamery i znając emisyjność należy dokonać pomiaru rzeczywistej wartości temperatury obszaru "białego" w stanie ustalonym, tzn. po odczekaniu kilku minut od osiągnięcia przez stolik zadanej temperatury. Następnie należy zmierzyć temperaturę na powierzchni "miedzianej". Kolejnym krokiem jest takie dobranie współczynnika emisyjności, żeby uzyskać rzeczywistą wartość temperatury, tj. taką samą jak w przypadku obszaru białego. Następnie z ustawieniami kamery dla obszaru "miedzianego" dokonujemy pomiaru "białego".

 Detekcje obszarów nagrzewania wskazanego przez prowadzącego układu elektronicznego (tzw. "hot spot") – kamera Flir TG267

Wykorzystując kamerę Flir TG267 należy dokonać inspekcji wskazanego urządzenia elektronicznego. W tym celu urządzenie będzie w stanie pracy normalnie, a realizujący ćwiczenia mają za zadanie zarejestrować rozkład temperatur oraz wskazać najcieplejsze miejsca, ocenić czy mogą one prowadzić do uszkodzenia urządzenia oraz zastanowić się jakiego typu są elementy. Pomiar wartość rezystancji cieplnej struktury wskazanej przez prowadzącego – kamera Flir A40m

Termografia nazywana też często termowizja jest coraz bardziej popularną metodą diagnostyczną w budownictwie, przemyślę, w tym także w montażu elektronicznym. W związku ze złożonością zagadnienia, a więc i czasu na realizację ćwiczenia przedstawione tutaj zostanę jedynie najważniejsze zagadnienia.

W ramach ćwiczenia będziemy realizować pomiary parametru rezystancji cieplnej dostarczonej przez prowadzącego próbki. W komorze pomiarowej na regulowanym pod względem wysokości znajduję się zamontowana kamera, która jest podłączona do komputera. Obiekty kamery skierowany jest na dół, co pozwala na analizę obiektów znajdujących się na podstawie statywu.



Z obiektywu kamery należy ostrożnie zdjąć pokrywę zabezpieczająca (po lewej stronie przez demontażem pokrywy, po prawej po demontażu)



Następnie należy podłączyć kamerę do zasilania oraz potwierdzić jej połączenie przewodem Firewire do komputera na stanowisku. Na uruchomionym komputerze należy włączyć oprogramowanie

ThermaCAM Researcher Professional. Po włączeniu kamery i programu i odczekaniu około 1 minuty (autoregulacja kamery określona charakterystycznym dźwiękiem po zasileniu kamery), z zakładki "camera" wybrać opcję "connect". W oknie kontroli kamery prawidłowe połączenie określane będzie zielonym kółeczkiem oraz informację "connected" – rysunek poniżej. Powierzchnia foli aluminiowej powinna znajdować się w odległości 30 cm od kamery, co należy wykonać z użyciem dostępnej na stanowisku linijki. Ponadto w oknie kontroli kamery w zakładce "CAM" wybieramy zakres 40 – 120 st. C. Reszta ustawień bez zmian. Kolejnym etapem konfiguracji kamery jest ustawienie ostrości obrazu, albowiem podobnie jak z fotografii, konieczna jest analiza obrazów o największej ostrości do uzyskania informacji z obrazu. Pojedyncza klatka w termografii określana jest nazwą termogram. Do uzyskania pożądanej ostrości wykorzystujemy 3 ikonki w górnej części okna głównego programu: 1) góry – oddalanie, 2) tarcza ze strzała – automatyczne ustawiania oraz 3) kwiatek – przybliżanie. Wszelkie pomiary wykonujemy w zamkniętej komorze.

Następnie przechodzimy do czynności, których celem jest zapewnienie prawidłowości pomiaru:

1) Kalibracja – uwzględnienie warunków otoczenia:

Każdy obiekt, którego temperatura jest wyższa niż zero bezwzględne (> 0 K) emituje fale elektromagnetyczne w paśmie podczerwienią, a emisja ta jest związana w drganiami termicznymi atomów. Zatem promieniowanie padające na detektor podczerwieni (w wypadku używanych kamer są to mikrobolometry) może być wynikiem emisji wszystkich otaczających elementów, w tym samej w sobie nagrzanej kamery (urządzenia elektroniczne się nagrzewają w czasie swojej pracy w związku ze stratami), ale także przewodów, każdej powierzchni (ścian, biurka, długopisu, etc.), a promieniowanie to określane jest nazwą temperatury pozornej. Dlatego też zastosowanie komory pomiarowej ma za zadanie wyeliminować wpływ otaczających przedmiotów, a w szczególności, tych bardzo gorących (np. rozgrzane elementy w hutach). Niemniej jednak konieczne jest uwzględnienie promieniowania wnętrza komory, a także umieszczonej w niej pozostałych przedmiotów, w tym nagrzanej kamery. W tym celu:

1) Na dnie komory umieszczamy folie aluminiową, której zadaniem jest odbicie promieniowania z różnych kierunków i skierowanie do detektora promieniowania otoczenia. Należy zapewnić widoczność krawędzi wygiętej folii aluminiowej, w celu zapewnienia kontrastu termicznego.



Następnie po lewej stronie ekranu głównego wybieramy opcję prostokąt i zaznaczamy obszar na powierzchni wygiętej folii aluminiowej. Następnie na dole strony głównej przechodzimy do zakładki "results", z której odczytujemy wartość średnią temperatur dla zaznaczonego obszaru (w tym miejscu możliwy jest odczyt różnych parametrów dla wielu obszarów jednocześnie) – Avg. W naszym wypadku jest to temperatura 23.4 st. C. Wartość tę należy zanotować.



Znając odległość kamery od obiektu (folii aluminiowej) równej 30 cm oraz znając temperaturę pozorną otoczenia (23.4 st. C) należy również dokonać odczytu wartości wilgotności względnej oraz temperatury w komorze i je także zanotować. Para wodna w powietrzu absorbuje promieniowanie podczerwone propagowanych fal, co skutkuje spadkiem intensywności padającego na detektor promieniowania, a absorpcja ta jest zależna od temperatury (a więc temperatury pary wodnej).



Następną czynnością jest wprowadzenie do oprogramowania. W tym celu w oknie głównym programu na obszarze mapy rozkładu temperatur klikamy prawym przyciskiem myszy i wybieramy opcję "settings". Możliwa jest tutaj też możliwa zmiana palety sposobu wyświetlanych barw (barwa jako reprezentacja wartości temperatury w danym obszarze.



Zapisane dane wprowadzamy w odpowiednie pola (UWAGA W TYM MIEJSCU ZMIENIAMY EMISYJNOŚĆ NA 0.98) i klikamy okay.

New session [C/USers/LUPEC/Documents/ThermaCAM Researcher Pro 2.9/Images] - ThermaCAM Researcher Professional 2.9	d X
The call view Camera image Recording Flep	
NEW0001.SEQ 💊 Tool button/F5 🖶 Highest speed II 🕸 Tool button/F5 🤓 🗃	
Setting: 30,0°C Image: Society: Image: Society:	
👔 🕼 IR 🔤 Results 🖉 Profile 崖 Histogram 💆 Plot 🛃 Multi	NUM
	10:52 24-03-15

2) Wykonywanie pomiarów:

Posiadając skalibrowany przyrząd pomiarowy możliwe jest przejście do pomiarów. Pod koniec poprzedniego kroku konieczne było wprowadzenie emisyjności na poziomie 0.98, ponieważ obserwowane powierzchnie są pokryte taką samą warstwą jak w przypadku punktu 1 dla kamery TG267. W tej części ćwiczenia będziemy dokonywać pomiaru rezystancji cieplnej złącza, które jest wykonane w technologii niskotemperaturowego spiekania nanocząstek srebra. Taka struktura składa się ze źródła ciepła (rezystor krzemowy o wymiarach 5 mm x 5 mm i grubości 3 mm) oraz podłożaodbiornika ciepła (również rezystor krzemowy o wymiarach 5 mm x 5 mm i grubości 3 mm). Pomiędzy nimi znajduje się złącze cieplne (spiekane cząstki srebra).



Ciepło w takim układzie przepływa od źródła do odbiornika, a własności warstwy pomiędzy nimi będą nas informowały czy transfer ciepła jest efektywny (zbliżone do siebie temperatury źródła i podłoża) czy nie jest efektywny (materiały o małej wartości przewodnictwa cieplnego "przeniosą" małą ilość ciepła ze źródła do odbiornika, a więc różnica temperatur będzie duża). Energia to takiej próbki (jej grzanie) jest dostarczają elektrycznie poprzez układ ścieżek na płytce obwodu drukowanego. Zatem układ taki jest grzanym rezystancyjnie półprzewodnikiem. Próbkę umieszczoną w uchwycie ustawiamy pod kamerą i ustawiamy odległość 30 cm od próbki.



Ponadto w takim układzie w celu określenia dostarczonej do układu mocy elektrycznej dokonujemy pomiaru przepływającego prądu przez taki rezystor oraz spadem napięcia jaki na nim występuje (zgodnie ze schematem na rysunku poniżej), a obliczenia dokonujemy zgodnie ze wzorem:

 $\mathsf{P}[\mathsf{W}] = \mathsf{U} \cdot \mathsf{I} [\mathsf{V} \cdot \mathsf{A}].$



POPRAWNOŚĆ PODŁĄCZENIA UKŁADU PRZED PIERWSZYM URUCHOMIENIEM NALEŻY POTWIERZIĆ U PROWADZĄCEGO!

W celu wstępnego określenia obszarów analizowanych struktur, próbkę należy wstępnie zagrzać sterując mocą z zasilacza jednocześnie analizując obszar w którym w oknie programu pojawia się obraz związany z wyższą temperaturą obiektu (np. jak w punkcie wyznaczania emisyjności narzędzie prostokąt). Następnie z użyciem narzędzia rysowania elipsy zaznaczamy obszar źródła, a następnie z użyciem tego samego narzędzia na powierzchni odbiornika.



UWAGA!!!! NIE PRZEKRACZAĆ 100 ST. C TEMPERATURY ŹRÓDŁA!

Następnie wyłączamy wyjście zasilacza, a więc przestajemy próbkę nagrzewać i czekamy do uzyskania temperatury pokojowej (<30 st.C). Podczas oczekiwania przechodzimy do zakładki "Plot", która to będzie pozwalała na zapis wartości temperatur dla wskazanych obszarów w czasie rzeczywistym. Na

medica	005	Zuize R	пкатту	prawyn	i pi	zyciskie		111932	-y '	wybi	cranny	opeje	"Auu .
New session	[C:\Users\LIPEC\Documen	ts\ThermaCAM Researc	her Pro 2.9\Images]	- ThermaCAM Research	er Profession	ial 2.9					<u> </u>		
File Edit View	w Camera Image Re	cording Help											
🖹 📽 🔚	- -	👬 🖻 🌺 🧭 🗞		?									
23,1 _ 28,3	10			9.0									
	A Transmer												
NEWOOUT.SEQ	I col button/F5	Highest speed	1001 × 1001	button/F5 U									
+	and the second second		28,3°C	₽6 /	Analysis 🖣	₽ Position 🖡	Obj. Par	r 🚺 Image	e 📴 Text	comment			
<u>•</u>				Labe	l Value	[°C] Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev Result	Expression		
<u> </u>	ARC	CONTRACT AND		AR01	e	22,9 28.0	28,4	5,5 0,4	28,2	0,1	ThermoVision /	A40 M Fir 🕅	ן ת
븳	Mill centre in			AR02		Сору	8,3	1,1	28,0	0,2	Curry Curry		al I
5						Clear					Main Cam	Dev E	
		一個個個人				Zoom in					Measuremen	t Hange	
102		- 网络自然语				Zoom out					Noise Reduc	tion	
×						Auto zoom					On	-	
		BARAN AN	23.1°C		-	Auto scroll					Auto shu	utter	
						Cursor					Int. I	mage Corr.	
						Settings					-	Focus	
28-					_	Add						= +	
27-					_	Start					Connecte		-
26-							_				Connecte		
25-													
475139:4	41:21 475139:41:23	475139:41:25	475139:41:27	475139:41:29	47513	:41:31 475	139:41:33	475139	9:41:35	475139:41:37	475139:41:39	475139:41:41	1 475139:41:4
•													
•	ն 🛃 Label	Function Value	Time (Cursor Cursor time	Status								
	Beeulte												
® IR	🔠 nesuits 📂 Profi	ne nistogram .	🤨 Plot 🔁 Mul	u								Come Bay	
					_	_		_	_	_	DI ~		13-39
🥑 🌔	ž 📻 💟										PL 📾	- 🛯 🖉 🦛	2024-03-15

niebieskim obszarze klikamy prawym przyciskiem myszy i wybieramy opcje "Add".

Następnie dla obszaru wybieramy "average temperature", co pozwoli nam na obserwowanie wartości średniej temperatury zaznaczonego przez dane narzędzie obszaru.

😫 New session [C:\Users\LIPEC\Documents\ThermaCAM Researcher Pro 2.9\Images] - Therma	AM Researcher Professional 2.9	
File Edit View Camera Image Recording Help		
23.0 - 26.9 °C] _] _]		
NEW0001.SEQ Tool button/F5 Highest speed II R Tool button/F5	*	
+ 26.9°C	🗜 Analysis 🚏 Position 🖏 Obj. Par 🚯 Image 📴 Text comment	
	Label Value [°C] Min Max Max - Min Avg Stdev Result	Expression
	Image 22,9 27,3 4,4 AR01 26,5 27,1 0,5 26,8 0,1 AP02 26,5 27,1 0,5 26,6 0,2	ThermoVision A40 M Fir 🔯
	ANU2 20,1 20,0 0,7 20,0 0,2	Main Cam Dev E ∢ ►
	unction Value	Measurement Range
	R image Min temperature	Noise Beduction
	AR01 Max temperature AR02 Average temperature	On 💌
23,0°C	Min difference temperature Max difference temperature	✓ Auto shutter
	Average difference temperature	Int. Image Corr.
27-		Focus
26-	OK Cancel	Connected ⑦ 0
25-		
24-		
175400-44.04 475400-44.00 475400-44.05 1000-1100		475400-44.00
4/0130(41.2) 4/0130(41.23 4/0130(41.20 478139(41.27 4	araateriza eroisateriisi eroisateriisi eroisateriisi eroisateriisi eroisateriisi	470138(41:60 470138(41:41 470139)41:4
Label Function Value Time Cursor	Cursor time Status	
💩 IR 📗 Results 📈 Profile 💺 Histogram 🙋 Plot 🛃 Multi		
		CIII 🛍 Live NUM
		PL 🚎 🔺 🎼 🔐 🐗 🌒 13:39 2024-03-15

Następnie uruchamiamy rejestrowanie używając przycisku "play". Jeżeli chcemy zatrzymać klikamy przycisk "stop". Następnie niezwłocznie włączamy zasilony układ rejestrując pomiar. Skutek powinien być taki jaki poniżej:

🖹 Ne	ew session [C:\	Users\LIPEC\Document	s\ThermaCAM Researc	her Pro 2.9\Images	- ThermaCAM Re:	earcher Pr	ofessional 2.9	8) <u> </u>
File	Edit View	Camera Image Rec	ording Help															
1	🖻 😤 日	₽ 8 88	aa 💿 🏔 🥑 🗞		?													
22.1	41.1				aal													
23,1	- 41,1		<u> </u>	10	4													
NEW	/0001.SEQ	Tool button/F5	Highest speed	II 🕅 Too	l button/F5 t	ট 🔳												
+		Million and Articles (199		41.1°C		₽% Analy	/sis 🖶 Po	sition sti	Obi. Par	🔒 Image	🗗 Tex	t comment	t l					
20						Label	Value [°C]	Min	Max	Max - Min	Avg	Stdev	Result	Expression				1
~		AROL				Image		23,0	41,4	18,3				-		52	D	
		ARUS				AR01 AR02		39,5 38.0	41,4	1,9	40,9	0,5		InermoVisio	n A40 M Fi	r	1	
0								/-		-/-		-/-		Main C	am Dev	E		
Ð														Measurer	ent Range			
∎.		and the second												-40 · 120	°C NOF	-		
f(x)														Noise Re	duction			
×														On		•		
_	A State			23,1°C										🔽 Auto	shutter			
													_	h	it. Image Co	n.		
		4											_		Focus			
	1	1												•		+		
	35-													Conne	ted 🕐	0		
	30-	/																
]/																	
	25-																	
	ó	20 40	1:00 1:20	1:40 2:00	2:20 2:40	3:00	3:20	3:40	4:00	4:20 4:4	0 5:0	0 5:20	5:40	6:00	6:20	6:40	7:00	7:20
	•																	•
	🕨 🔳 🐮	a 🛃 Label	Function Value	Time	Cursor Cursor t	ime Sta	itus											
	• • •		Avg 40,9 Avg 40,3	13:40:53,027	N/A	Ad	tive											
			-															
	<u>⊚</u> IR <u>⊞</u>	Results 🗠 Profil	le 🖆 Histogram	🕒 Plot ⊵ Mu	Iti											-		
																	Live	NUM
				- <i>4</i>										PL	Ĩ <u>►</u> ►	X *	(i) 1 2024	3:40 4-03-15

Pomiar powinien być dokonany do pełniej stabilizacji temperatur źródła i podłoża (około 10 minut), a charakterystyka nagrzewania i stabilizacji, a następnie wyłączenia i ochładzania jest przedstawiona poniżej.

🚉 N	lew session [C	:\Users\LIPEC\Documents\	ThermaCAM Researche	r Pro 2.9\Images] - Therm	aCAM Researcher I	Professional 2.9									- x
File	Edit View	Camera Image Reco	rding Help												
1	e f () () () () () () () () () (
23.3	26.5														
120,0	- 20,0	<u> </u>	J												
NEV	V0001.SEQ	Tool button/F5	Highest speed	II 🕅 Tool button/F	5 付 🔳										
+	100	Paral Landson Maria		26.5°C	🛒 🖓 🖓	lysis 🐥 Posit	tion 5. Ob	i. Par 🔒	Image 🛛 🕏	Text comm	ent				
22.7	自然的任何	建設電電源 和計算		20,5 0	Label	Value [°C]	Min	Max Max -	Min A	vg Stdev	Result	Expression			1
4		AROL			Image		23,2	27,7	4,4			(T. N	14014F \$2		
		AR020	adamented (CSR)		AR01 AR02		23,7	24,1 24.2	0,4 2	4,0 0,1 4.0 0.1		Inermovision	A40 M Fir	1	
0												Main Ca	m Dev E ∢ ≯	(
Ð												Measureme	ent Range		
												-40 · 120 *	C NOF 💌		
102												Noise Red	uction		
\times		得以命 [1]》。清朝										On	•		
		1993年16月1日		23,3°C								Auto sł	nutter		
	°C											Int	. Image Corr.		
	=		and the second s	i in								·	Focus		
	50-												= +		
				1								O Connect	ted 🕐 0	1	
	40-	/		1)-)	, ك	
	1/														
	30-														
	1/														
		1:40 3:20	5:00 6:40 8	20 10:00 11:40	13:20 15:0	0 16:40 1	8:20 20:0	0 21:40	23:20	25:00 26	40 28:2	20 30:00	31:40 33:20	35:00	36:40
		Label	Function Value	Time Cursor	Cursor time S	tatus									
			Avg 24,0 Avg 24.0	13:59:11,137	N/A Pi N/A Pi	aused									
	💩 IR 👖	🗄 Results 🛛 🛃 Profile	<u> E</u> Histogram 🧕	🧕 Plot 🛃 Multi											
													—	Live	NUM
-) (Ĉ			<i>6</i>								PL 📻	í 🔺 😼 🔐 🤞	() 202	13:59

W stanie ustalonym odczytujemy wartości średnie źródła i podłoża, a także wynik pomiaru napięcia i prądu. Następnie dokonujemy obliczeń rezystancji cieplnej zgodnie ze wzorem:

$$R_{TH} = \frac{\Delta T}{P_{\dot{z}}} = \frac{T_{\dot{z}} - T_o}{U \cdot I} \left[\frac{K}{W}\right]$$

 R_{TH} – rezystancja cieplna ΔT – różnica temperatur źródła i podłoża T_ź – temperatura źródła, T_o – temperatura odbiornika/podłoza U – zmierzone napięcie I – zmierzony prąd

Termografia jako relatywnie tania, szybka i bezkontaktowa metoda jest w prawdzie próbą możliwie najdokładniejszego oszacowania temperatury rzeczywistej badanego obiektu, a nieznajomość warunków może skutkować poważnymi niedoszacowaniami lub przeszacowaniami.

Przed zakończeniem działania programu ustawiamy emisyjność na wartość 1.0.