

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA, SYMULACJI I BADAŃ UKŁADÓW CHŁODZENIA W URZĄDZENIACH ELEKTRONICZNYCH

Streszczenie: Artykuł omawia zagadnienie projektowania, symulacji i badań układów chłodzenia w urządzeniach elektronicznych z wykorzystaniem oprogramowania Solid Works Flow Simulation. Analizie wymiany ciepła i przepływu powietrza zostanie poddany zasilacz laboratoryjny. Celem procesu jest dobór odpowiednich elementów chłodzących, umożliwiającą bezawaryjną pracę systemu.

COMPUTER AIDED DESIGNER, SIMULATION AND TESTING OF COOLING SYSTEM IN ELECTRONIC DEVICES

Abstract: Article deals with the designing, simulation and testing of cooling system in electronic devices using Solid Works Flow Simulation. Laboratory power supply will be subjected to analysis of heat transfer and air flow. The aim of the process is the selection of appropriate cooling elements what allows the system trouble-free operation.

Słowa kluczowe: chłodzenie w urządzeniach elektronicznych, Solid Works Flow Simulation

Keywords: cooling system in electronic devices, Solid Works Flow Simulation

1. WPROWADZENIE

Podczas przepływu prądu przez elementy elektroniczne wydziela się ciepło. Źródłami ciepła są zarówno czynne struktury półprzewodnikowe, transformatory, jak i elementy pasywne. Największe straty mocy obserwowane są na elementach aktywnych: tyrystorach, diodach, tranzystorach i układach scalonych. Problemy termiczne występujące coraz częściej w sprzęcie elektronicznym wiążą się w pierwszym rzędzie z jego miniaturyzacją, która dla pewnych dziedzin elektroniki stała się nieodłącznym warunkiem dalszego rozwoju, i tak np. aby dziesięciokrotnie zwiększyć szybkość procesora, należy stukrotnie zwiększyć gęstość montażu tranzystorów. Proporcjonalnie do gęstości montażu wzrasta moc wydzielona w postaci ciepła. Nieodprowadzenie tej energii na zewnątrz urządzenia najczęściej prowadzi do wzrostu jego temperatury i przegrzania elementów, co jest najczęstszą przyczyną uszkodzeń aparatury elektronicznej. Dodatkowo od temperatury zależą również właściwości materiałów, wytrzymałość mechaniczna oraz elektryczna, jak również dopuszczalne obciążenie mocą.

W celu zagwarantowania poprawności i bezawaryjności działania sprzętu elektronicznego wykorzystuje się chłodzenie pozwalające odprowadzić z urządzenia i podzespołów nadmierne ciepło. Aby to umożliwić, stosuje się różnego rodzaju radiatory, wentylatory, bloki wodne

oraz ogniwa Peltiera. Proces projektowania odpowiedniego układu chłodzenia stawia przed konstruktorami urządzeń trudne wyzwanie. Z pomocą przychodzą programy do symulacji i badań, które już przed fazą budowy prototypu urządzenia pozwalają zoptymalizować model z zagwarantowaniem spełnienia krytycznych wymogów m.in. zakresu temperatur elementów elektronicznych. Jednym z takich programów, który zostanie omówiony w opracowaniu, jest *Flow Simulation* będący rozszerzeniem *Solid Works*.

2. OPIS PROGRAMU SOLID WORKS FLOW SIMULATION

Moduł Flow Simulation umożliwia analizę zależności dynamicznych modeli geometrycznych w odniesieniu do przepływu cieczy i gazów, transmisji ciepła oraz sił wywieranych na bryłę wynikających z oddziaływania przepływającego medium. Oprogramowanie charakteryzuje się dużą elastycznością i może być używane w różnorodnych aplikacjach. Począwszy od analizy przepływu wody wokół łodzi podwodnej, przez rozkład temperatury w konstrukcjach poddawanych wpływowi ciepła, na analizie przepływów turbosprężarek kończąc. Flow Simulation umożliwia również przygotowanie scenariuszy, z różnymi parametrami badanego modelu w celu porównania z przyjętymi warunkami granicznymi.



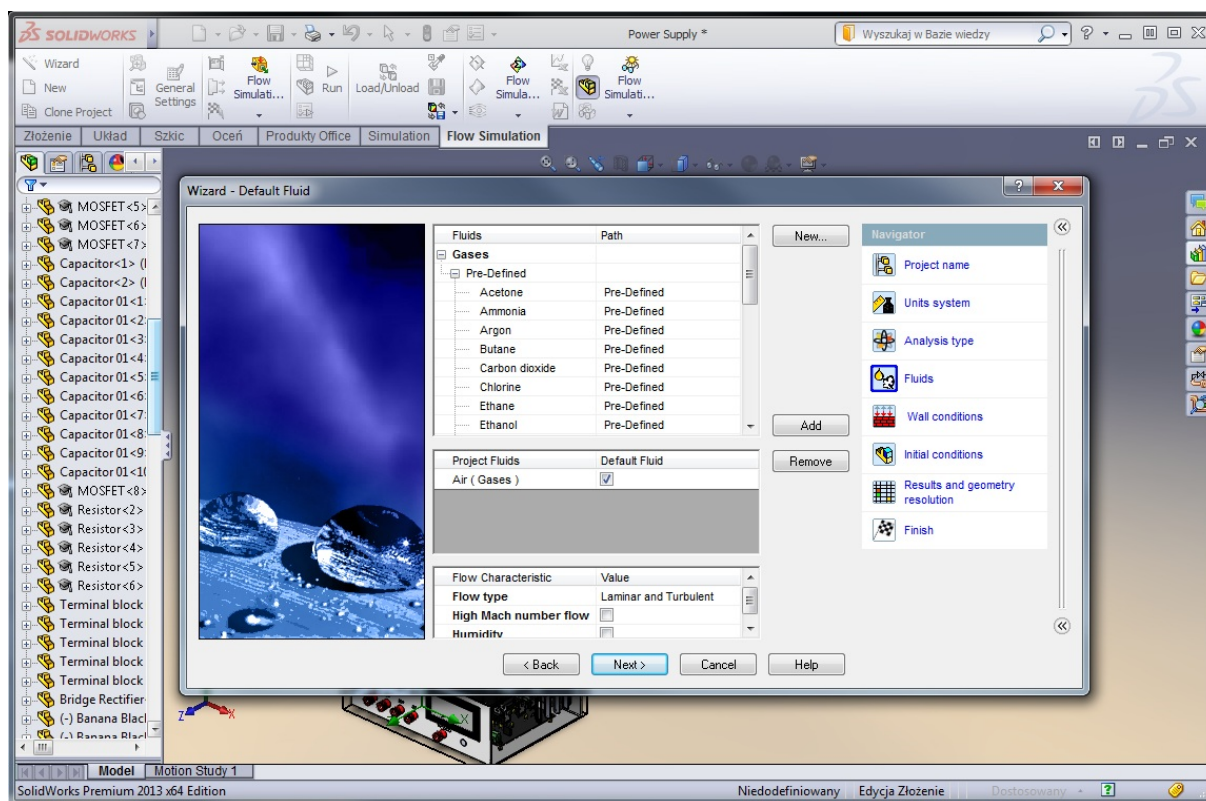
Rys. 1. Model zasilacza laboratoryjnego

Omawiany program jest bardzo pomocnym narzędziem w procesie projektowania, symulacji i badań układów chłodzenia urządzeń elektronicznych. Dla pełnego przedstawienia

możliwości komputerowych technik wspomagania w tym zakresie, analizie poddany zostanie model zasilacza laboratoryjnego. Celem badań jest dobór optymalnego wentylatora dla urządzenia oraz sprawdzenie, czy konieczne jest zastosowanie radiatorów na obudowach TO220 tranzystorów MOSFET.

3. PROCES KONFIGURACJI BADANIA

Zasilacz laboratoryjny jest jednym z podstawowych urządzeń każdej pracowni konstruktorskiej. Zbudowany jest z transformatora, układu prostującego, wygładzającego i stabilizującego napięcie, woltomierza, amperomierza oraz interfejsu użytkownika. Z punktu widzenia niezawodności urządzenia, ważne jest niedopuszczenie do przekroczenia maksymalnej temperatury pracy transformatora oraz tranzystorów. W analizie założono, że w krytycznych warunkach, czyli pracy z maksymalnym obciążeniem prądowym, moc strat transformatora wyniesie 25 W, natomiast każdego z tranzystorów 1,5 W. Energia cieplna zgromadzona w zasilaczu laboratoryjnym musi zostać odprowadzona na zewnątrz, aby temperatura tranzystorów nie przekroczyła wartości 140°C. Proces chłodzenia umożliwią zastosowywane otwory nawiewowe oraz odpowiednio dobrany wentylator wymuszający ruch powietrza. Dodatkowymi parametrami analizy są temperatura oraz ciśnienie otoczenia, których wartości przyjęto odpowiednio na 20°C i 10 1300 Pa. Interpretację wyników badań wspomogą symulacja przepływu powietrza oraz rozkład temperatur wewnątrz zasilacza.



Rys. 2. Kreator parametrów badań programu *Solid Works Flow Simulation*

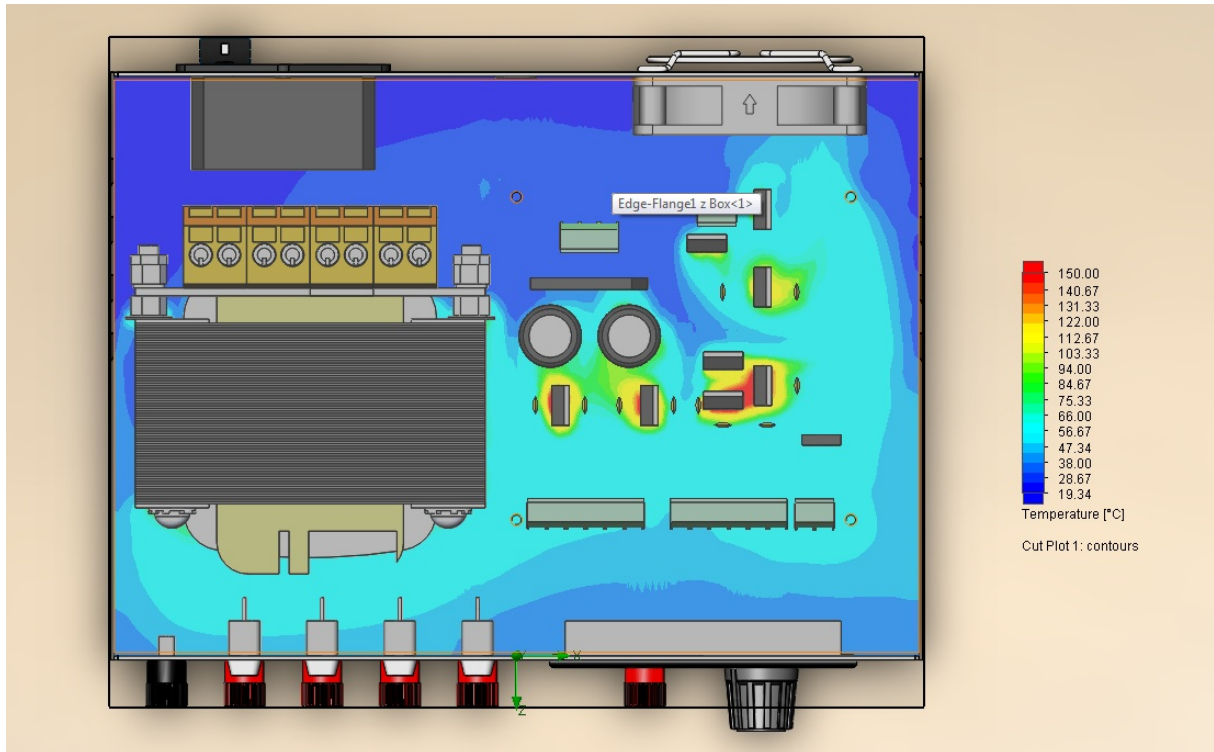
Aby rozpocząć badanie układu chłodzenia w programie *Solid Works Flow Simulation*, należy zapewnić szczelność obudowy zasilacza. Pomocne okazuje się narzędzie „Create Lids”, które automatycznie wypełnia bryłami cienkościennymi otwory w zaznaczonych ścianach. Ze względu na blaszaną konstrukcję obudowy urządzenia, na potrzeby analizy usunięto część podgięć, aby wyeliminować otwory w narożnikach.

Przygotowanie symulacji ułatwia intuicyjny kreator, umożliwiający konfigurację podstawowych parametrów. Pierwszym z nich jest dobór układu jednostek. Wykorzystany będzie układ SI. Kolejno przedstawione są możliwe do użycia cechy fizyczne analizy. Istotne w symulacji są przewodzenie ciepła oraz uwzględnienie działania siły grawitacji. W następnym kroku zostaje wybrane powietrze atmosferyczne jako ośrodek, w którym znajduje się model urządzenia. Proces konfiguracji z użyciem kreatora kończy się wyborem geometrycznego obszaru działania symulacji oraz materiału, z jakiego są wykonane granice tego obszaru. W przypadku analizowanego układu granice są wirtualne, zbudowane z materiału izolacyjnego.

Drugi etap konfiguracji symulacji polega na dodaniu parametrów wejściowych i wyjściowych dla modelu w oknie *FeatureMenager*. Na wstępie zostają zdefiniowane materiały, z jakich wykonane będą poszczególne elementy zasilacza. I tak obudowa powstaje z blachy alucynkowej, transformator w głównej mierze z miedzi, zaś płytka PCB z laminatu FR4. Zastosowane elementy półprzewodnikowe wykonane są z krzemu, natomiast jako materiał wykonania kondensatorów elektrolitycznych przyjęto aluminium. Pozostałe elementy mogą zostać pominięte ze względu na małe gabaryty i znaczenie w symulacji.

Bardzo istotny dla uzyskania prawidłowych wyników jest kolejny etap, w którym należy wskazać otwory wpływu powietrza do obudowy oraz dobrać wentylator. Otwory zostały wcześniej zamodelowane w bocznych ścianach pokrywy i w założeniu nie możemy ich modyfikować, jednak w innych aplikacjach jest to dopuszczalne, a nawet wskazane. Wybranie właściwego wentylatora jest jednym z głównych celów symulacji. Bardzo pomocne okazuje się narzędzie *Engineering Database*, które łączy wiedzę na temat różnorodnych elementów, jak również stanowi bibliotekę ich funkcji umożliwiających symulację. Dla pierwszego badania zostanie dodany wentylator KDE1206PHV2A firmy *Sunon* o wydajności 30,6 m³/h. Analiza rezultatów pozwoli potwierdzić właściwość wyboru lub wskaże na konieczność zmiany.

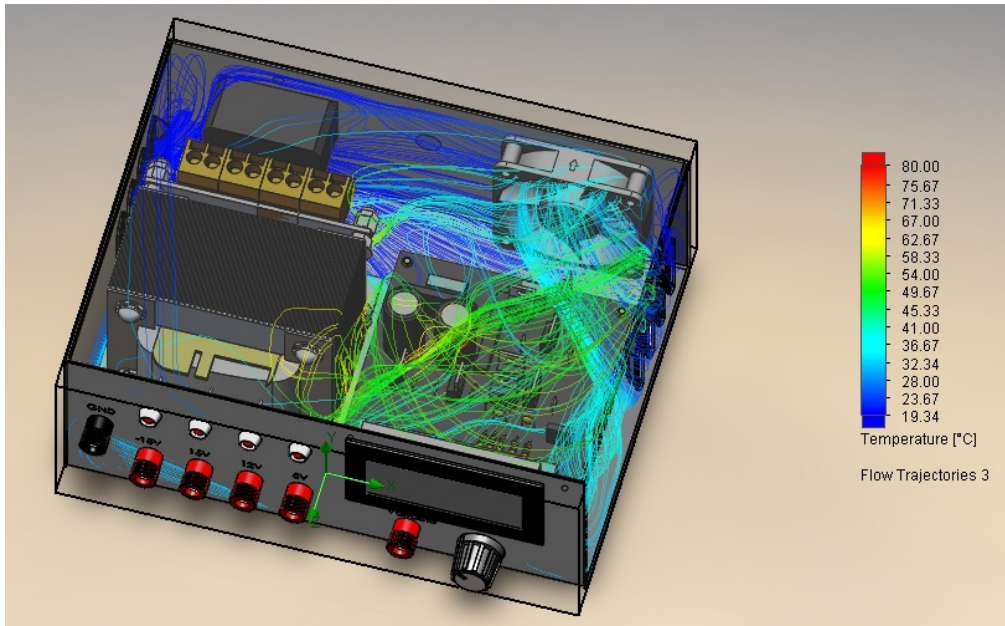
Wskazanie źródeł ciepła jest kolejnym kluczowym zadaniem w procesie kreowania badania. Elementy elektroniczne będące składowymi modelu zasilacza zostaną zdefiniowane zgodnie z wcześniejszymi założeniami. Dodatkowymi podzespołami, które oddają energię, są kondensatory elektrolityczne, których temperatura pracy została ustalona na poziomie 45°C.



Rys. 3. Rozkład temperatur wewnątrz zasilacza

4. PRZEPROWADZENIE SYMULACJI

Po określeniu parametrów wejściowych symulacji należy zdefiniować dane wyjściowe, których wyniki pozwolą na wyciągnięcie wniosków. Najistotniejszymi informacjami, które chcemy uzyskać, są temperatury tranzystorów podczas pracy zasilacza. *Solid Works Flow Simulation* zapisuje szereg wartości w zależności od czasu trwania symulacji, z których można również wygenerować wykresy. Kolejno definiujemy płaszczyzny, na których zostanie zobrazowany rozkład temperatur wewnątrz urządzenia. Wyświetlenie poszczególnych przedziałów temperatur w postaci palety kolorów podzielonych izotermami informuje konstruktora o najbardziej zagrożonych miejscach wewnątrz obudowy. W analizie zostanie wykorzystany dodatkowo widok trajektorii przepływu powietrza. Funkcja doskonale sprawdza się podczas projektowania obudowy, pozwalając m.in. optymalnie rozmieścić otwory wentylacyjne. Widok trajektorii można dowolnie prezentować w postaci wektorów, linii bądź wstęg.

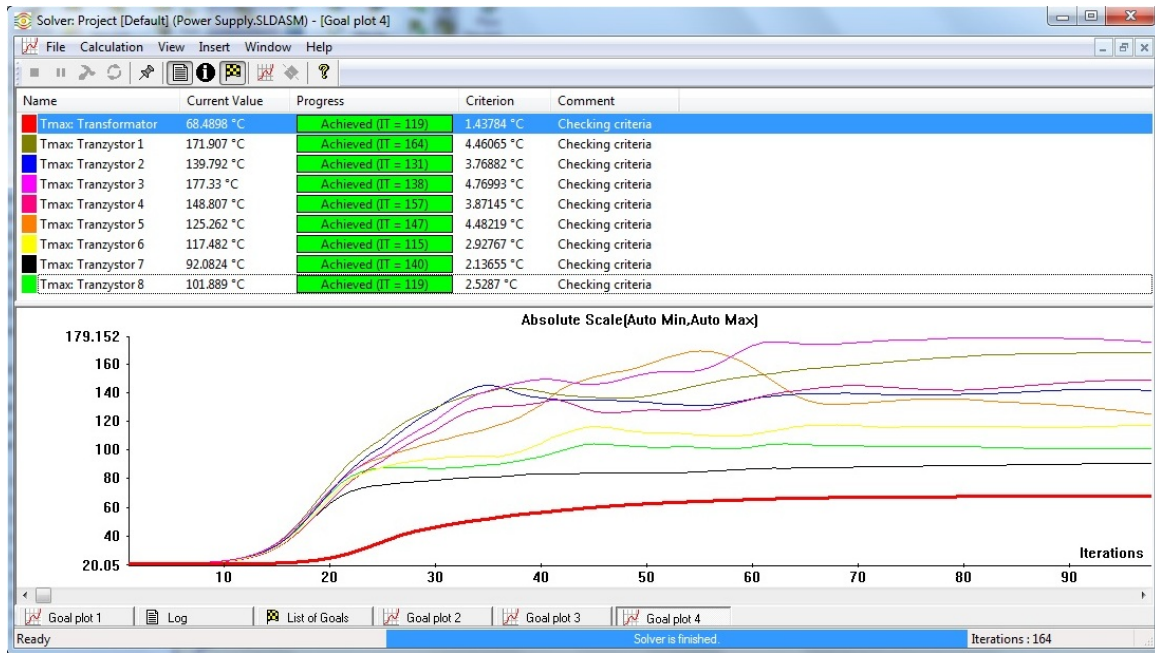


Rys. 4. Widok trajektorii przepływu powietrza z uwzględnieniem temperatur

Następnym krokiem po procesie konfiguracji jest uruchomienie obliczeń. W zależności od skomplikowania modelu i wydajności komputera, oczekiwanie na wyniki może potrwać nawet kilkadziesiąt minut. Rezultaty badań zapisują się w pliku z rozszerzeniem .fld i zostają automatycznie wczytane przez *Solid Works Flow Simulation*. Dodatkowo podczas przebiegu obliczeń uruchamia się narzędzie *Simulation*, wyświetlające postęp badania, a następnie wyświetla tabele wyników, pozwalając na ich graficzną interpretację w naszej analizie temperatur tranzystorów od czasu.

5. ANALIZA WYNIKÓW




Przeprowadzona analiza wykazała zbyt małą wydajność zastosowanego wentylatora. Elementy podczas pracy ciągłej przekroczyły założoną maksymalną temperaturę. Badanie przeprowadzono ponownie dla wentylatorów PMD1206PTV1A oraz PMD1206PMB1A o wydajności odpowiednio 58,4 i 95,9 m³/h. Symulacja z użyciem ostatniego wentylatora pozwoliła uzyskać korzystne wyniki, na podstawie których producent urządzenia będzie w stanie zagwarantować bezawaryjną pracę.



Rys. 5. Wyniki pierwszego badania dla poszczególnych elementów elektronicznych

Tabela 1. Zestawienie charakterystycznych pomiarów dla zastosowanych wentylatorów

Element	T_{max} (KDE1206PHV2A)	T_{max} (PMD1206PTV1A)	T_{max} (PMD1206PMB1A)
Transformator	68,49°C	55,07°C	50,09°C
Tranzystor 1	171,90°C	153,22°C	135,16°C
Tranzystor 2	139,72°C	133,46°C	126,80°C
Tranzystor 3	177,33°C	143,83°C	133,15°C
Tranzystor 4	148,81°C	131,85°C	124,83°C
Tranzystor 5	125,26°C	113,92°C	103,40°C
Tranzystor 6	117,48°C	94,03°C	86,59°C
Tranzystor 7	92,08°C	76,44°C	68,97°C
Tranzystor 8	101,89°C	86,16°C	79,90°C

 (30,6 m³/h)	 (58,4 m³/h)	 (95,9 m³/h)
--	---	--

LITERATURA

- [1] Bergles A.E., Bar-Cohen A.: *Immersion Cooling of Digital Computers, Cooling of Electronic Systems*, 1994, s. 539-621.
- [2] Bogusz J.: *Chłodzenie urządzeń*, Elektronika praktyczna, nr 4/2009, s. 1-3.
- [3] Agostini B. i in.: *State of the art of high heat flux cooling technologies*, Heat Transfer Engineering, 2007, pp. 258-281.