

Zapewnienie ciągłości produkcji w dobie braku podzespołów elektronicznych

Grzegorz Pawłowicz

BEESSET Sp. z o.o., ul. Żurawia 71, 15-540 Białystok

Streszczenie: W artykule przedstawiono opis przypadku zapewnienia ciągłości produkcji urządzenia przeznaczonego do kasowania biletów przy niedoborach dostaw na rynku komponentów elektronicznych. Uwzględnione zostały kryteria podejmowanych decyzji i ich wpływ na projekt kasownika. Zaproponowano rozwiązania, które mogą zmniejszyć ryzyko wstrzymania produkcji przez wykorzystanie zamienników brakujących elementów z uwzględnieniem minimalizacji kosztów takich zmian.

Słowa kluczowe: produkcja urządzeń elektronicznych, SoM (System on Module), podzespoły, kasownik biletów

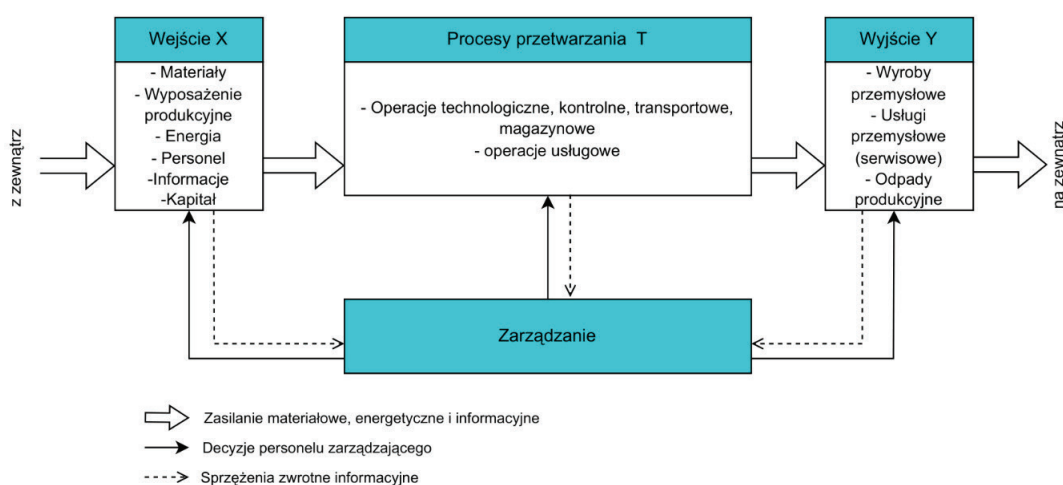
1. Wprowadzenie

W celu wyprodukowania określonych dóbr należy stworzyć system produkcyjny. Jest to celowo zaprojektowany oraz zorganizowany układ materialny, energetyczny i informacyjny eksploatowany przez człowieka i służący wytworzeniu określonych produktów w celu zaspokojenia różnorodnych potrzeb klientów [1]. Sieć zależności i powiązań systemu produkcyjnego przedstawiono na Rys. 1.

W systemie produkcyjnym w odniesieniu do podstawowych czynników materialnych będących przedmiotem przetwarzania można wyróżnić następujące procesy (Rys. 2):

- pozyskiwania surowców i materiałów, czyli zakupu,
- składowanie i przygotowywanie do produkcji,
- właściwy proces produkcyjny, czyli przetwarzanie zasobów,
- składowanie towarów, przygotowywanie do zbytu,
- dystrybucja i obsługa odbiorców.

Procesy te wyznaczają podstawowe obszary działań operacyjnych powtarzających się z cykli na cykl. W odróżnieniu od pozostałych czynników wytwórczych (np. ludzie, majątek trwały) procesy te są odmienne, nie mają cechy całkowitej odnawialności w kolejnych cyklach produkcyjnych.



Rys. 1. Uogólniony schemat systemu produkcyjnego [1]

Fig. 1. Generalized diagram of the production system [1]

Autor korespondujący:

Grzegorz Pawłowicz, g.pawlowicz@beeset.com

Artykuł recenzowany

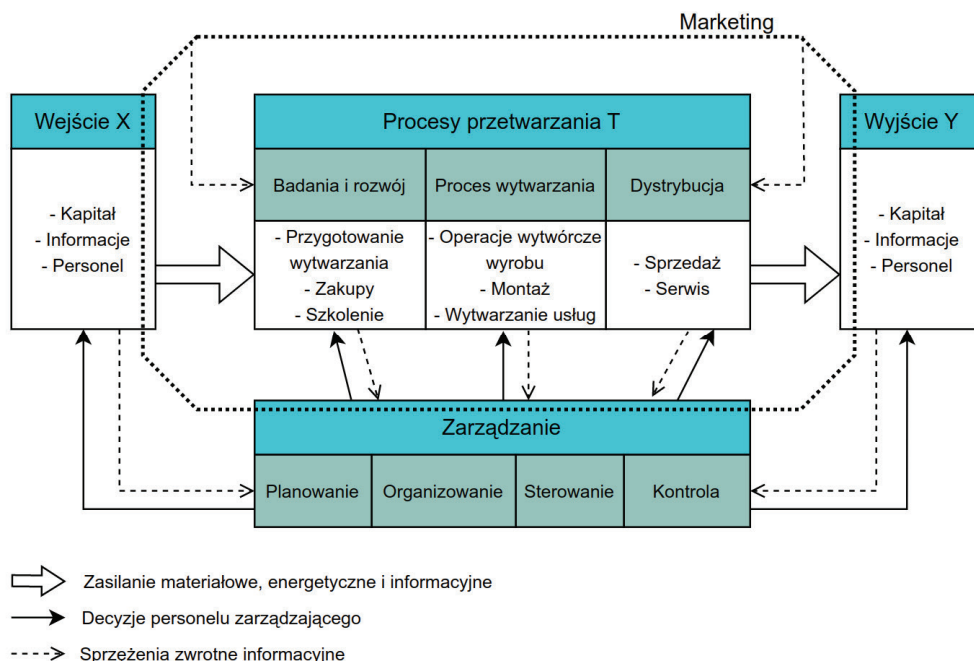
nadesłany 16.10.2022 r., przyjęty do druku 17.11.2022 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Zmienność procesów jest wynikiem zmieniających się warunków otoczenia. Od 2020 r. globalne łańcuchy dostaw doznały poważnych zawirowań, co utrudnia produkcję urządzeń elektronicznych i wymaga weryfikacji dotychczasowych metod pozyskiwania surowców i materiałów oraz projektowania i konstrukcji wyrobów.

Niskie koszty pracy oraz niskie marże będące wynikiem dużej konkurencyjności spowodowały, że główne fabryki i dostawcy



Rys. 2. Schemat systemu produkcyjnego w gospodarce rynkowej [1]
Fig. 2. Diagram of the production system in the market economy [1]

komponentów elektronicznych na świecie znajdują się w Azji. Jest tak również w przypadku, kiedy oficjalna siedziba producentów docelowych rozwiązań znajduje się w Europie lub USA. Mechanizmy logistyczne między Europą a Dalekim Wschodem zawsze stanowiły słabą stronę tej współpracy. W szczególności trwająca pandemia COVID-19, a następnie wojna w Ukrainie, utrudniły, a niekiedy wręcz zablokowały, możliwość transportu towarów [2]. W efekcie niektóre z nich stały się niedostępne, co ogranicza lub całkowicie uniemożliwia lokalną produkcję urządzeń. Skomplikowany mechanizm logistyczny na rynku komponentów elektronicznych okazał się bardzo wrażliwy na warunki ekonomiczne, geopolityczne i sytuację epidemiologiczną.

W artykule przedstawiono działania związane z rozwiązaniem problemu braków układów półprzewodnikowych oraz innych komponentów i podzespołów elektronicznych podczas procesu wprowadzenia do produkcji kasownika biletów typu NV1. Związane były one z koniecznością przeprojektowania urządzenia w taki sposób, aby ograniczyć przestoje produkcyjne i związane z tym straty finansowe.

2. Charakter zakłóceń procesów w systemie produkcyjnym

Jak już wspomniano globalne zawirowania spowodowały zakłócenia procesów w lokalnych systemach produkcyjnych. W przypadku kasownika NV1 było to związane w szczególności z procesem zakupu komponentów niezbędnych do jego produkcji. Z końcem 2020 r. praktycznie z dnia na dzień zmieniła się dostępność oraz cena elementów elektronicznych niezbędnych do produkcji kasownika. Nawet w przypadku zadeklarowanej przez dostawcę dostępności komponentu realizacja zamówienia w określonym terminie cechowała się wysokim poziomem niepewności. Przykładowo dostawcy oznaczali dostępność produktu za trzy miesiące, a następnie po dwóch miesiącach wydłużali ten czas do sześciu miesięcy. Skutkowało to brakiem możliwości ustalenia przewidywalnego planu produkcji (zakłócenie zarządzania produkcją) i składania ofert sprzedaży urządzeń z deklarowanym terminem dostawy oraz instalacji. Terminowość jest podstawowym wymaganiem w procedurach przetargowych i zazwyczaj powiązane jest z nią naliczanie kar umownych. Ryzyko związane z terminowością zaopatrzenia a co za tym idzie – produkcji można próbować przenieść na dostawcę komponentu. Jeśli jednak nie jest on uczestnikiem

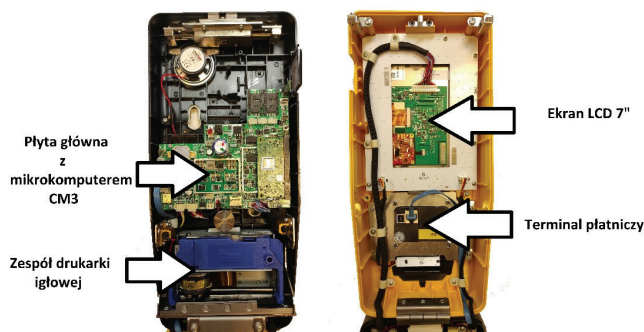


Rys. 3. Widok zewnętrzny kasownika NV1
Fig. 3. Overview of the NV1 device

postępowania przetargowego i dodatkowo konkurencyjność w produkcji danego komponentu jest niewielka, to nie znajdzie uzasadnienia ekonomicznego do podejmowania takiej odpowiedzialności. Mimo tego starano się uzyskać realną deklarację dostępności układu w rozmowach z producentami.

3. Kasownik NV1

Urządzenie NV1 (Rys. 3) jest kasownikiem biletów papierowych i elektronicznych [5]. Rozwiązanie oparte jest o SoM (ang. *System on Module*), [3] Raspberry Pi Compute Module 3 (CM3) w wersji bazowej oraz wersjach CM3+ i CM3+Lite [9]. Uruchamiany jest na nim system Linux, najczęściej w dystrybucji Raspberry Pi OS. Z systemem tym zintegrowane jest dodatkowe oprogramowanie umożliwiające obsługę funkcji kasownika. Kasownik przystosowane jest do montażu w autobusach oraz integracji z wewnętrznymi systemami wymiany danych i sterowania. Interakcja z użytkownikiem odbywa się



Rys. 4. Wnętrze kasownika NV1, (zaznaczone najważniejsze podzespoły)

Fig. 4. NV1 mainboard, major components visible

za pomocą ekranu dotykowego i komunikatów dźwiękowych. Urządzenie może być dodatkowo wyposażone w czytnik kodów 2D (np. kod kreskowy, kody dwuwymiarowe), mechanizm kasowania biletów papierowych, terminal płatniczy, czytnik kart bezstykowych i beacon Bluetooth (nadałnik Bluetooth do radiowego rozgłaszania określonej informacji).

Kasownik NV1 to urządzenie modułowe składające się z szeregu podzespołów [5] połączonych wiązkami kablowymi z płytą główną (Rys. 4). Płyta główna jest najbardziej złożonym funkcjonalnie podzespołem kasownika. Znajduje się na niej zasilanie całego urządzenia, jak również wszystkie niezbędne interfejsy komunikacyjne. Umieszczony w niej mikrokontroler z rodziny STM32 pełni rolę podstawowego układu nadzorującego poprawną pracę komponentów sprzętowych (ang. hardware supervisor). Komunikuje się on z komputerem CM3, który jest główną jednostką sterującą całego urządzenia [9]. Wybierając rozwiązania sprzętowe dla płyty głównej brano pod uwagę jego wymagania. Jednym z nich była konieczność zastosowania kontrolera Ethernet przeznaczonego do połączenia z siecią. Jest nim układ LAN9514 [6], który z powodzeniem stosowany jest w kolejnych SoM z rodziny Raspberry Pi. Liczba podłączonych peryferii (urządzeń do komunikacji, terminali płatniczych) w urządzeniu wymusza zastosowanie sprzętowego powielania interfejsów USB, jak również konwersję USB-UART (układ FT232RQ) [7]. Specyficznym rozwiązaniem jest także stosowanie konwersji DPI-LVDS (przejście z równoległego interfejsu grafiki na szeregowy) przy wykorzystaniu układu DS90CF383B [8], ponieważ moduł CM3 nie ma tego kontrolera [9]. Interfejs LVDS (ang. *Low Voltage Differential Signaling*) jest często stosowanym rozwiązaniem w ekranach dotykowych LCD. Zastosowany w module CM3 interfejs multimediów HDMI (ang. *High Definition Media Interface*) jest nieużyteczny, ponieważ konwersja HDMI-LVDS jest droższa w implementacji od konwersji DPI-LVDS.

4. Produkcja urządzenia

Początki komercjalizacji (produkcja pierwszych partii wyrobu) kasownika NV1 zbiegły się w czasie z początkiem pandemii COVID-19. Spodziewając się zakłócenia dostaw z Dalekiego Wschodu, gdzie obostrzenia związane z sytuacją epidemiologiczną zostały wprowadzone najwcześniej, rozważono możliwy wpływ wspomnianych perturbacji na produkcję urządzenia. Dostawcy podzespołów zostali poproszeni o określenie czasów dostaw i dostępności komponentów. Następnie wybrano najważniejsze elementy z punktu widzenia działania urządzenia tj. takie, dla których nie istnieją zamienniki, jakie można zastosować bez konieczności wprowadzenia zmian w projekcie płyty głównej.

Priorytetem stało się zgromadzenie odpowiednich zapasów magazynowych tych elementów. W pierwszej kolejności zaku-

piono układy, których zamiana wiązałaby się z największymi kosztami zmian w projekcie i oprogramowaniu urządzenia. Należał do nich m.in. mikrokontroler STM32. Zastosowanie zamiennika wymagałoby implementacji nowego oprogramowania układowego (ang. *firmware*).

Z przyczyn finansowych zakupy zostały rozłożone w czasie, a dynamiczna sytuacja na rynku elektroniki spowodowała, że niektóre dostępne początkowo układy, jak CM3 (komputer sterujący) czy FT232RQ (translator USB – UART), zniknęły z rynku. Stało się to główną przyczyną do wprowadzenia niezbędnych zmian sprzętowych na płycie głównej.

5. Wybór zamienników

Kryteriami wyboru zamienników dla układu SoM były:

- parametry mechaniczne, najważniejszy z nich to wymiary płytki z układem – nie brano pod uwagę zastosowania układu, który nie mieściłby się w obudowie urządzenia (koszt projektu i wykonania nowej obudowy zamyka się w kwocie rzędu kilkuset tysięcy złotych i byłby zupełnie nieakceptowalny),
- parametry elektroniczne, najważniejsze to: pojemność dostępnej pamięci (wymagania dla systemu i aplikacji na urządzeniu, parametr zgłoszony przez programistów) oraz liczba wyjść GPIO (wyjścia ogólnego przeznaczenia – podłączenie komponentów kasownika),
- kompatybilność wsteczna związana z możliwością podłączenia układu do płyty głównej,
- zgodność ze standardami SMARC (ang. *Smart Mobility ARChitecture*) i Qseven, która zapewnia większą kompatybilność między różnymi zamiennikami układu SoM,
- dostępność komponentu – dla etapu projektowania (kilka egzemplarzy rozwojowych) i dla produkcji seryjnej,
- szacowany koszt prac programistycznych związany z wdrożeniem i przetestowaniem nowych komponentów [4],
- deklarowana przez dostawcę cena komponentu (która może ulegać fluktuacjom, niemniej pozwala na rekalkulacje ostatecznej ceny kasownika NV1).

W trakcie poszukiwań zamienników uwzględniono standardy, które zapewniają dostępność różnych rozwiązań sprzętowych o tych samych gabarytach oraz strukturze połączeń zewnętrznych. Należą do nich standardy SMARC oraz Qseven, za których wykonanie i określenie odpowiada międzynarodowa organizacja SGET (ang. *Standardization Group for Embedded Technologies*) [10]. Ideą tych standardów jest określenie parametrów, jakie mają spełniać komputery jednopłytkowe tak, aby można było łatwo stosować rozwiązania różnych firm. Dlatego układ i funkcje wyprowadzeń takiego komputera oraz parametry zasilania są identyczne w rozwiązaniach różnych producentów, co czyni je atrakcyjnymi zamiennikami [10].

Wzorcowym rozwiązaniem był tutaj mikrokomputer Raspberry PI CM3+, dobierając zamienniki starano się, aby parametry były najbardziej zbliżone do tego rozwiązania. Wyniki analizy rynku podsumowano w Tab. 1.

Na etapie analizy rynku nie znaleziono rozwiązania SoM, które byłoby kompatybilne z CM3 na poziomie podłączenia układu. Spowodowało to konieczność zaprojektowania płyty adaptera. Po dalszym przeanalizowaniu rynku pod kątem wymienionych kryteriów oraz potencjalnych zamienników wybrano dwa komponenty:

- CoreBoard PICO3288-LVDS (duża dostępność) [11],
- MSC SM2S-IMX8NANO (standard SMARC) [12].

Podjęto również decyzję, że projekt powinien obejmować możliwość użycia w przyszłości Compute Module CM4 [13] mimo braku gwarancji dostępności. Układ ten jest następcą CM3, któ-

Tab. 1. Wykaz zamienników SoM

Tab. 1. SoM replacement list

Model i producent	Czas realizacji zamówienia produkcyjnego [tygodnie]	Decyzja
CoreBoard PICO3288-LVDS URVE	3	Zaakceptowany: duża dostępność, układ stosowany w innych projektach (posiadana wiedza i doświadczenie)
MSC SM2S-IMX8NANO Avnet Embedded	gwarantowane 52, możliwa wcześniejsza realizacja	Zaakceptowany: standard SMARC, gwarancja dostawcy dotycząca dostępności i bardzo atrakcyjna cena
Raspberry Pi CM4 Raspberry Pi Foundation	52	Zaakceptowany: następcą układu CM3
Colibri-arm-family Toradex	8–20	Zaakceptowany (jako opcja): kompatybilny z układem CoreBoard PICO3288-LVDS, jednak cena przekraczała budżet projektu
Trizeps VIII Mini 59 B11.E0910 Keith & Koep GmbH	32	Odrzucony: brak wbudowanej pamięci eMMC, dostępne jedynie złącze microSD na płycie SoM
ROM-5721CD-RDA1E ROM-5780CO-REA1E Advantech	30	Odrzucone: stosunkowo długi czas realizacji przy przeciętnej cenie
Verdin-arm-family Toradex	8–20	Odrzucony: cena znacznie przekraczała budżet projektu
VAR-SOM-6UL Variscite Ltd.	26	Odrzucony: zbyt mała pojemność pamięci RAM
LEC-PX30-Q-1G-16G-R ADLINK Technology Inc.	36	Odrzucony: długi czas realizacji zamówienia, cena znacznie przekraczała budżet projektu

rego produkcja zakończy się w 2025 r. Wybór CM4 jest naturalnym etapem modernizacji kasownika.

Kryteria decyzji obejmowały również parametry techniczne takie jak dostępność określonych interfejsów. Stosowane obecnie w kasowniku komputery jednopłytkowe Raspberry Pi Compute Module 3 (CM3) w wersji bazowej, CM3+ i CM3+Lite wykorzystują procesor Broadcom BCM2837B0. Współpracuje z 1 GB pamięci RAM LPDDR2. Z kolei układ SoM CM3 i CM3+ zawiera wbudowaną pamięć eMMC o pojemności 8 GB, w wersji CM3+Lite zastępuje ją karta microSD. Odpowiednie złącze zostało umieszczone na płycie głównej w pierwotnym projekcie urządzenia (Rys. 5).

W kasowniku użyto interfejsu graficznego DPI, który wykorzystuje aż 27 wyjść GPIO. Obsługa ekranu z interfejsem LVDS wymaga zastosowania układu konwertującego DPI-LVDS (DS90C385).

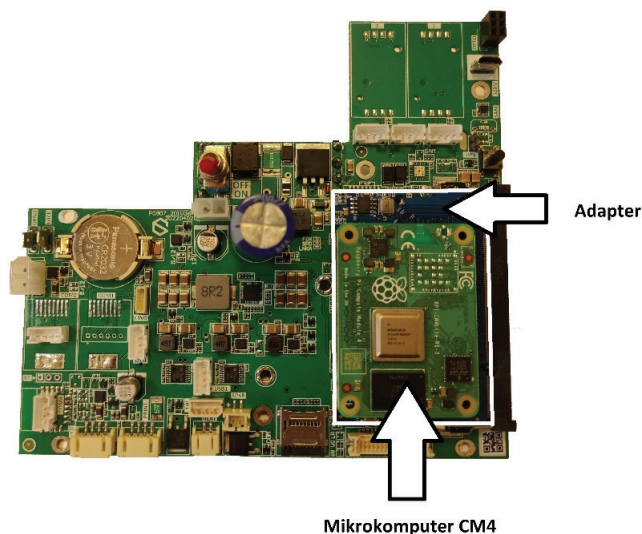
Urządzenie NV1 wykorzystuje również:

- dwa interfejsy I²C,
- dwa interfejsy UART (w tym jeden pełny – z kontrolą przepływu),
- sygnał stereofoniczny w formie sygnału PWM (ang. *Pulse Width Modulation*),
- port USB, który jest zwielokrotniony czterokrotnie przez układ LAN9514, który umożliwia połączenie z siecią Ethernet.
- Układ SoM CM3 wymaga trzech napięć zasilających: 5 V, 3,3 V i 1,8 V. Podłączony jest poprzez kartę SODIMM 200 pin, 1,8 V i tego typu złącze zostało umieszczone na płycie głównej kasownika NV1.

Mikrokomputer Raspberry Pi CM4 wyposażony jest w procesor BCM2711, czterordzeniowy Cortex A72 taktowany z częstotliwością 1,5 GHz. Użyto wersji z 1 GB pamięci RAM oraz 8 GB eMMC. Układ ten posiada 28 wejść GPIO, dlatego konieczna była rezygnacja z interfejsu DPI na rzecz HDMI. Układ SoM CM4 podobnie jego poprzednik wyposażony jest w interfejsy I²C, UART i dźwiękowy. Dostępny jest tylko jeden port USB.

Układ został uzupełniony o moduł nadawczo-odbiorczy warstwy fizycznej Ethernet. Zaletą tego układu są jego wymiary zbliżone do CM3 oraz sposób zasilania (układ wymaga jedynie zasilania 5 V).

Jak już wspomniano w trakcie poszukiwań zamienników rozważono uwzględnienie standardów SMARC oraz Qseven. Drugi z nich był zbyt duży gabarytowo i nie nadawał się do zastosowania w kasowniku. Podczas rozmów z dystrybutorami okazało się, że gwarantowaną perspektywę dostępności ma moduł MSC SM2S-IMX8NANO. Zaletą zastosowania tego modułu jest jego kompatybilność (a tym samym adaptera oraz płyty głównej) z każdym innym rozwiązaniem SMARC. Układ SoM zgodne z tym standardem cechują się niskim poborem mocy zaczynają-



Rys. 5. Płyta główna z zamontowanym mikrokomputerem CM4
Fig. 5. Mainboard with CM4 installed

cym się od kilku watów oraz niewielkimi i ściśle zdefiniowanymi wymiarami: 82 mm × 50 mm i 82 mm × 80 mm. Płytki drukowane (PCB) modułów mają 314 wyprowadzeń, które współpracują z nisko profilowanym złączem kątowym o rozstawie 0,5 mm. Standaryzacja złącza jest pożądaną cechą, ponieważ umożliwia stworzenie adaptera, który obsłuży wiele alternatywnych rozwiązań, a nie tylko jeden model czy rodzinę modeli od konkretnego producenta.

Układ CoreBoard PICO3288-LVDS [11] używa procesora Rockchip RK3288K, zawierającego cztery rdzenie taktowane z częstotliwością 1,8 GHz. Mikrokomputer dysponuje 2 GB pamięci RAM oraz 8 GB eMMC. Układ produkowany jest w dwóch wersjach, jedna z interfejsem graficznym LVDS, druga z DPI. Druga wersja jest bardziej dostępna. Układ ma co najmniej trzy porty USB, a jego wymiary są zbliżone do wymiarów modułu CM3.

Układ Avnet MSC SM2S-IMX8NANO [12] to kolejne akceptowalne rozwiązanie sprzętowe dla komputera sterującego. Moduł ten został zbudowany w oparciu o procesor I.MX 8M zawierający dwa rdzenie Cortex-A53 taktowane z częstotliwością 1,4 GHz. Układ jest wyposażony w 1 GB RAM, 8 GB eMMC oraz wiele peryferii, z których najważniejsze to LVDS, UART, I²C, cztery porty USB oraz Ethernet. Wykorzystywane jest podobne złącze SODIMM, ale zastosowano inną kolejność wyprowadzeń oraz standard zasilania 1,8 V (w CM3 2,5 V). Wymusiło to zaprojektowanie kolejnej płyty PCB przejściowej zapewniającej z jednej strony integrację z modulem Avnet, a z drugiej – z płytą główną. Kluczowa była tutaj translacja poziomów logicznych sygnałów cyfrowych, ponieważ moduł Avnet pracuje w standardzie 1,8 V, a płyta główna 3,3 V.

Dla układu scalonego FT232RQ nie znaleziono zamiennika, który nie wymagałby modyfikacji płyty głównej kasownika. Wybrano układ CP2102 [14] kierując się głównie jego dostępnością, funkcjami oraz kompatybilnością z istniejącym rozwiązaniem. Najważniejsze cechy układu CP2102 to:

- zintegrowany układ nadawczo-odbiorczy USB,
- zintegrowany oscylator,
- kompatybilność ze standardem USB 2.0,
- obsługa podstawowych formatów danych UART.

Układ ten ma inne wyprowadzenia i obudowę niż układ FT232RQ, co wymusiło zmiany w płycie głównej kasownika.

5. Zmiany konstrukcyjne

Podłączenie zamiennika mikrokomputera związane było z przygotowaniem odpowiedniego adaptera. Głównymi założeniami projektowymi dla płyty pośredniczącej między układem SoM a płytą główną były:

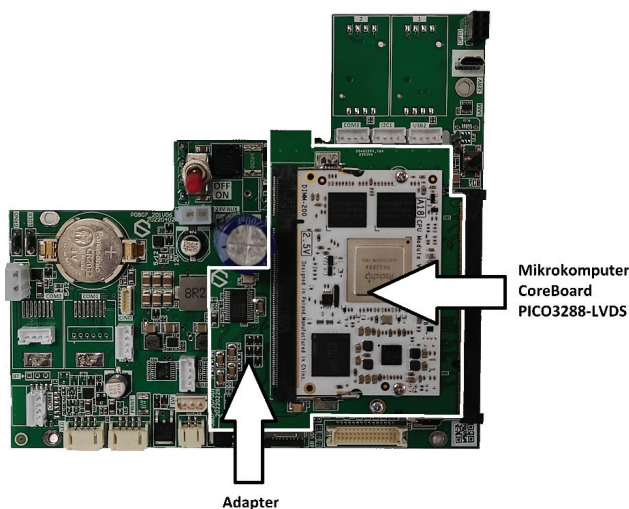
- zachowanie mechanicznej kompatybilności ze złączem SODIMM jak i układem SoM,
- zachowanie wymiarów zewnętrznych, które umożliwią montaż SoM w obudowie kasownika,
- zapewnienie przekazywania cyfrowych sygnałów sterujących (na które składają się głównie sygnały interfejsów komunikacyjnych) między SoM a płytą główną,
- zapewnienie prawidłowego zasilania modułu,
- umożliwienie przekształcenia sygnału video w standardzie HDMI na sygnał LVDS.

W trakcie konstrukcji najtrudniej było spełnić ostatni warunek, ponieważ konieczność zastosowania wielu dodatkowych elementów elektronicznych podnosi koszt materiałowy.

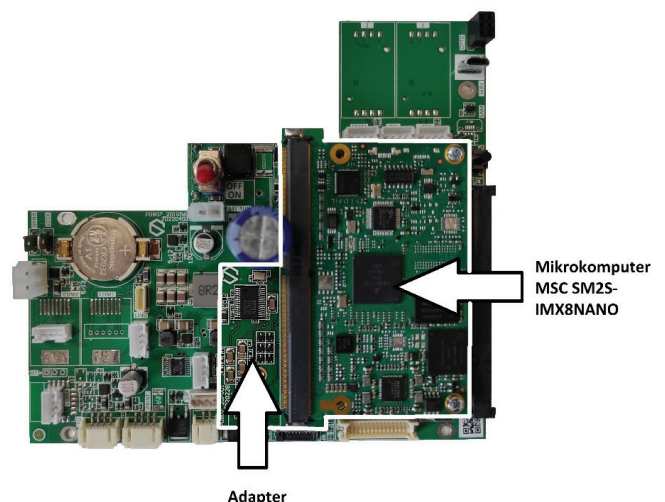
Zaprojektowany adapter dla mikrokomputera CM4 (Rys. 5) spełnia wszystkie powyższe założenia oraz cechuje się niewielkimi wymiarami. Dzięki temu całość rozwiązania umieszczono w pierwotnej obudowie, która nie była przygotowana na tego rodzaju modyfikacje.

Implementacja adaptera dla mikrokomputera CoreBoard PICO3288-LVDS (Rys. 6) była ułatwiona z powodu wymiarów modułu SoM. Jego całkowity gabaryt wraz z adapterem pozwolił na umieszczenie go w obudowie kasownika. Głównym problemem było przeniesienie sygnałów interfejsu LVDS do złącza graficznego na płycie głównej. W tym celu wykorzystano nieużywane wcześniej w CM3 złącze do interfejsu kamery. Płyta główna została doposażona w odpowiednie zworki, które w danym wariantcie montażowym umożliwiają wybór odpowiedniego połączenia, ponieważ dla niektórych komputerów korzystniej jest bezpośrednio łączyć interfejs LVDS z wyświetlaczem (nie wymaga to dodatkowego przekształcenia DPI-LVDS). Adapter ma złącze SODIMM 200 kompatybilne ze złączami rodziny komputerów jednopłytkowych Colibri-arm-family, które w przyszłości mogą być kolejnymi zamiennikami SoM.

Płyta przejściowa w standardzie SMARC między MSC SM2S-IMX8NANO a płytą główną kasownika (Rys. 7) była najtrud-

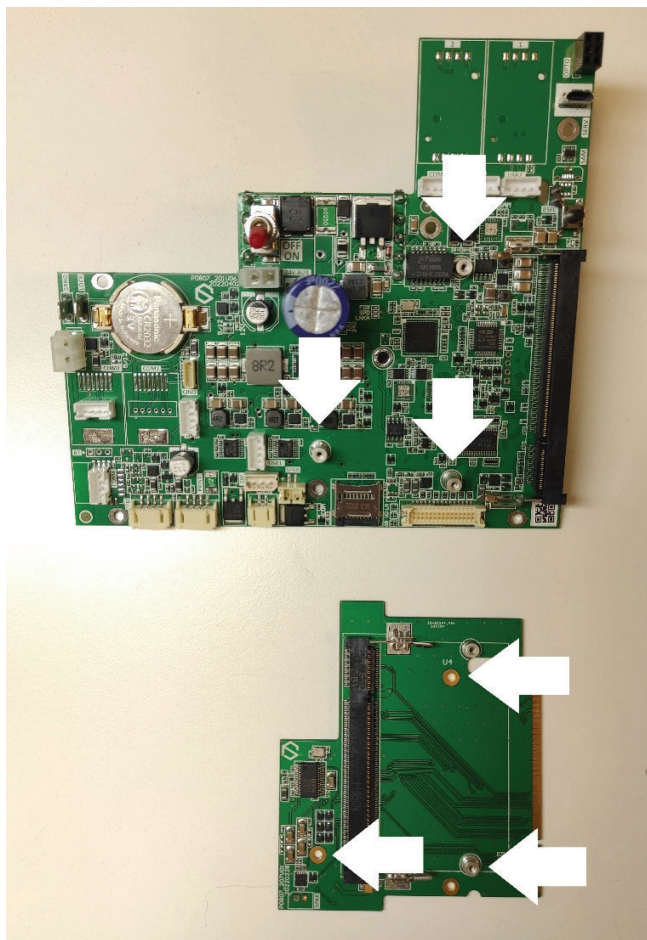


Rys. 6. Płyta główna z modułem adaptera dla CoreBoard PICO3288-LVDS
Fig. 6. Mainboard with adapter module for CoreBoard PICO3288-LVDS



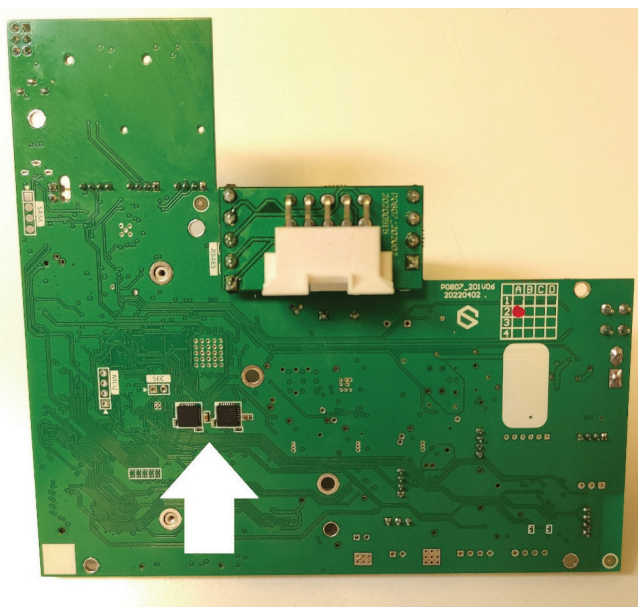
Rys. 7. Płyta główna z zamontowanym modułem adaptera w standardzie SMARC
Fig. 7. Mainboard with SMARC standard adapter module installed

niejsza w realizacji. Wymiary samego modułu i złącza SMARC okazały się na tyle duże, że niezbędne było odpowiednie zaplanowanie i rozłożenie ich na płycie adaptera. Konieczne było również dostosowanie poziomów napięć linii GPIO i interfejsów UART i I²C mikrokomputera (1,8 V) do poziomów napięć tych sygnałów na płycie głównej (3,3 V).



Rys. 8. Dodatkowe punkty podparcia (mocowania) płyty adaptera na płycie głównej

Fig. 8. Additional mounting holes for the adapter board on the mainboard



Rys. 9. Widok płyty głównej z układem CP2102

Fig. 9. View of the mainboard with the CP2102 chip

Dostosowanie płyty głównej do płyt adapterów wiązało się z problemami zarówno natury mechanicznej jak i elektrycznej. Podstawowym problemem mechanicznym była konieczność zmieszczenia się z płytą adaptera w ograniczonej przestrzeni obudowy urządzenia. Kolejnym było podparcie i umocowanie płyty adaptera w dodatkowych punktach. Masa zamienników komputera sterującego okazała się większa od masy nominalnego układu CM3. Spowodowało to konieczność wzmocnienia całości i rozłożenia dodatkowej masy. Modyfikacje te przedstawiono na Rys. 8.

Ostatnią z dokonanych zmian w połączeniach PCB płyty głównej było przystosowanie jej do zamontowania alternatywnego układu dla FT232RQ. W tym celu wykorzystano dolną warstwę, na której umieszczono odpowiednie wyprowadzenia dla układu CP2102.

6. Zmiany w oprogramowaniu

Równoległe do opisanych powyżej zmian układowych prowadzone były prace programistyczne. Możliwe to było dzięki oferowaniu przez producentów płytek rozwojowych oraz kilku sztuk innych układów, które były dostępne bezzwłocznie i pozwoliły na przygotowanie prototypów układów wraz z oprogramowaniem. Prace programistyczne obejmowały:

- dostosowanie systemu operacyjnego Linux (konfiguracja systemu obejmująca sterowniki dla nowych układów),
- konfigurację aplikacji w celu integracji z nowymi układami,
- testy aplikacji i współdziałania wszystkich komponentów oraz zmiany wynikające z otrzymanych wyników.

7. Wnioski

Doświadczenia przedstawione w powyższym studium przypadku pokazują, że:

- projektując nowe urządzenie należy określić jego najważniejsze elementy, a następnie zbadać ich dostępność aktualną oraz w przyszłości,
- w miarę możliwości należy zadbać o redundancję najważniejszych układów,
- wskazane jest wybieranie do projektu elementów w typowych obudowach oraz spełniających przyjęte standardy (jak SMARC czy Qseven), produkowanych przez więcej niż jednego producenta; dzięki temu znalezienie zamiennika lub alternatywnego dostawcy staje się bardziej prawdopodobne,
- kryterium dostępności układu, a w szczególności jego dynamiczna zmienność jest głównym ryzykiem utrzymania ciągłości produkcji; deklarowana dostępność nie powinna być głównym kryterium wyboru komponentu, warto uzyskać od producenta gwarancję dostępności,
- należy określić konkretne, istotne w danym projekcie, kryteria wyboru alternatywnych komponentów oraz oszacować ich wpływ nie tylko na projekt elektroniczny, ale również na proces produkcyjny,
- niezbędna jest efektywna komunikacja i współpraca ze wszystkimi uczestnikami projektu (w przedstawionym przypadku informacje od programistów pozwoliły wyeliminować nieodpowiednie rozwiązania już na etapie analizy rynku),
- w pierwszej kolejności należy zabezpieczyć stany magazynowe elementów programowalnych, dzięki temu nie ma konieczności modyfikacji oprogramowania,
- jeśli to możliwe oprogramowanie powinno zapewniać jego wysoką przenośność (modułowość, odpowiednia abstrakcja na poziomie sprzętowym),
- warto z wyprzedzeniem rozważyć prowadzenia dodatkowych prac projektowych związane z możliwością wykorzystania układów alternatywnych.

Globalizacja produkcji oraz nieobserwowane wcześniej na taką skalę jej negatywne skutki będące wynikiem uzależnienia od dostawców z Azji i łańcuchów transportu mogą zachwiać ciągłością produkcji na rynku lokalnym.

Warto mieć to na uwadze planując systemy produkcyjne. Globalizacja, pociągająca za sobą znaczne geograficzne oddalenie poszczególnych składników systemu jest jednocześnie bardzo podatna na zakłócenia (komunikacyjne, ekonomiczne itp.).

Rynek powinien zacząć podążać w kierunku deglobalizacji, ponieważ jego destabilizacja nie jest powolna i nie zmienia się na przestrzeni lat, ale tygodni. Przywrócenie i ustabilizowanie się produkcji i transportu będzie najprawdopodobniej długotrwałe, jeśli obecnie w ogóle możliwe, z uwagi na sytuację geopolityczną. Prace nad kasownikiem typu NV1 pokazują, że w obecnej sytuacji warto z góry przyjąć założenia projektowe, które zmniejszą ryzyko (zastosowanie zamienników, elementów alternatywnych itp.).

Podziękowania

Artykuł powstał w oparciu o wyniki realizacji projektu WND-RPPD.01.02.01-20-0141/19 „Inteligentny kasownik – kompleksowe rozwiązanie w transporcie publicznym”.

Bibliografia

- Durlak I., *Inżynieria zarządzania*, cz. I i II, Wydawnictwo Placet, Warszawa 2004–2005.
- Epidemia w Chinach rzuca swój cień na rynek elektroniki*, „Elektronik”, Nr 3, 2020, str. 20.
- Komputery jednopłytkowe*, „Elektronik”, Nr 7, 2022, str. 20.
- Kanagachidambaresan G.R., *Role of Single Board Computers (SBCs) in rapid IoT Prototyping*, Springer, 2021, DOI: 10.1007/978-3-030-72957-8.
- Pawłowicz G., *Metody zapewnienia EMC kasownika biletów według Regulaminu EKG ONZ nr 10.06*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, R. 25, Nr 3, 2021, 87-93, DOI: 10.14313/PAR_241/87.
- Microchip, LAN9514, [www.microchip.com/en-us/product/LAN9514].
- FTDIChip, FT232R – USB UART IC, <https://ftdichip.com/products/ft232rq/>
- Texas Instruments, DS90CF383B, [www.ti.com/product/DS90CF383B?keyMatch=DS90CF383B&tisearch=search-everything&usecase=GPN].
- Dokumentacja układu Raspberry Pi Compute Module 3+ Lite <https://datasheets.raspberrypi.com/cm/cm3-plus-data-sheet.pdf>
- Standardization Group for Embedded Technologies, <https://sget.org/>
- Dokumentacja układu CoreBoard PICO3288-LVDS, <https://eveo.pl/elektronika-digital-signage/urwe-coreboard-pico3288-lvds/>
- Dokumentacja układu MSC SM2S-IMX8NANO <https://embedded.avnet.com/product/msc-sm2s-imx8nano/>
- Dokumentacja układu Raspberry Pi Compute Module 4 [www.raspberrypi.com/products/compute-module-4/?variant=raspberry-pi-cm4001000].
- Dokumentacja układu CP2102 [www.silabs.com/documents/public/data-sheets/CP2102-9.pdf].

Ensuring Production Continuity in an Era of Electronic Component Shortages

Abstract: The article presents a description of the case of ensuring the continuity of production of a ticket validator device in the presence of supply shortages in the market for electronic components. The criteria for decision-making and their impact on the design of the ticket validator are considered. Solutions are proposed that can reduce the risk of production stoppage by using replacements for missing components, taking into account the minimization of the cost of such changes.

Keywords: electronics manufacturing, SoM (System on Module), electronic components, ticket validator

mgr inż. Grzegorz Pawłowicz

g.pawlowicz@beesset.com

ORCID: 0000-0002-6121-9888

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej (2008). Od 2008 r. związany z branżą automotive. Jego główne zainteresowania dotyczą projektowania rozwiązań sprzętowych urządzeń elektronicznych dla branży automotive, technologii produkcji PCB, automatyzacji procesów SMT oraz zagadnień DFM.

