

Systemy dla Internetu Rzeczy (16)

Dynamiczne monitorowanie prądu zasilania układu SoC

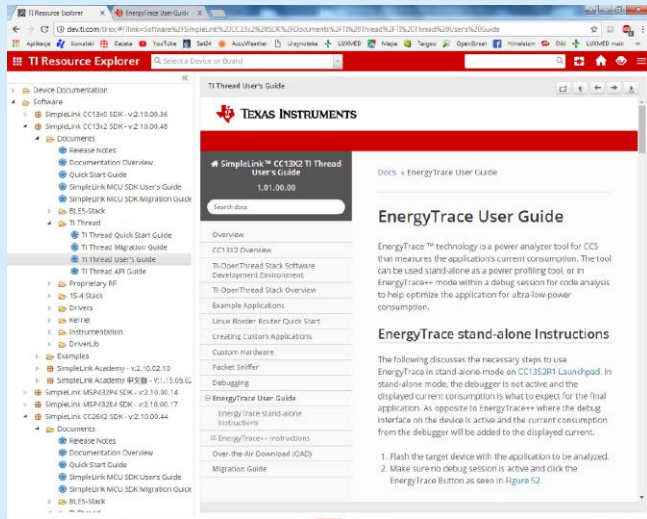
Bezpieczeństwo jest obecnie najważniejszą cechą systemów Internetu Rzeczy (IoT). Ale drugie miejsce zajmuje niski pobór energii zasilania. A jest to zagadnienie obszerne, złożone i trudne. Obejmuje ono wybór odpowiednich komponentów sprzętowych układu IoT i ich odpowiednie skonfigurowanie. A także opracowanie odpowiedniej struktury pracy wątków aplikacji. Jednak praca oprogramowania musi uwzględniać (a może raczej wykorzystywać) możliwości zarządzania zasilaniem wewnętrznych bloków układu scalonego SoC (procesora).

Pomiar prądu zasilania szybkiego układu cyfrowego wcale nie jest takim łatwym zadaniem. W zasadzie jest potrzebny pomiar prądu chwilowego. I to w zakresie od poziomu nanoamperów do ok. 100 mA. Szczególnie jest to trudne, gdy mamy do czynienia ze złożonym układem SoC, którego bloki pracują niezależnie i współbieżnie. Wtedy brak wglądu w strukturę dystrybucji zasilania może uniemożliwić interpretację wyników jego pomiaru. Dlatego bardzo pomocne jest wspomaganie sprzętowo-programowe pomiaru prądu z uwzględnieniem zmian dynamicznych. Układy scalone najnowszej rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2 firmy Texas Instruments razem z zestawami startowymi LaunchPad umożliwiają taką możliwość.

Dokumentacja

Dosyć zwyczajowo, bardzo trudno odszukać jakąkolwiek dokumentację dotyczącą użycia technologii *EnergyTrace* z układami scalonymi rodziny CC13x2/CC26x2. Ale są opisy użycia technologii *EnergyTrace* z układami rodziny MSP320 z tym samym procesorem ARM Cortex-M4F. Opisy dotyczące procesorów starszej rodziny MSP430 znajdują się na stronie produktu: *MSP EnergyTrace Technology* [7]. W miarę szeroki opis jest zamieszczony w rozdziale 3 dokumentu *Code Composer Studio v8.x for MSP430 User's Guide* [11].

Dla rodziny CC13x2/CC26x2 są tylko dwa (praktycznie takie same) opisy bardzo ukryte w portalu TIREX [8]. Opis dla procesora CC1352R1F3 znajduje się w pakiecie SimpleLink CC13x2 Software



Rysunek 1. Opis użycia technologii EnergyTrace dla procesora CC1352R1F3 [10]

Development Kit [5]. Trzeba nawigować do ścieżki *Documents* → *TI Thread* oraz *SimpleLink CC13x2 TI Thread User's Guide 1.00.00.00*. Następnie trzeba wybrać *EnergyTrace User Guide* [10] (rysunek 1). Tak sam opis jest dla procesora CC2652R1 w pakiecie CC26x2 SDK [6].

Opis organizacji systemu zasilania układu scalonego z rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2 jest zamieszczony w dokumencie CC13x2, CC26x2 *SimpleLink Wireless MCU Technical Reference Manual* [3].

Dobry opis sposobów zarządzania mocą układów rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2 z zastosowaniem systemu operacyjnego TI-RTOS jest zamieszczony w dokumencie *RTOS Power Management Emerges as a Key for MCU-based IoT Nodes* [13].

Bardzo ciekawy opis ćwiczenia laboratoryjnego *SimpleLink SDK-LaunchPad Power Measurements Using EnergyTrace* dla procesorów rodziny MSP430 jest zamieszczony w ramach *SimpleLink Academy 2.10.01 for SimpleLink MSP432P4 SDK 2.10* [14]. Należy się spodziewać bardzo podobnych opisów dla układów rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2 w nowszych wersjach pakietów SDK.

System zasilania procesora SimpleLink CC1352R1F3

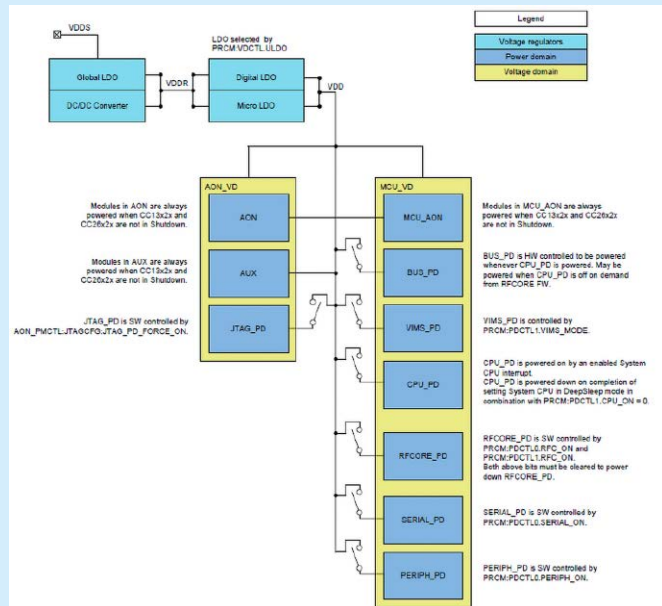
Dobrym polem eksperymentów z monitorowaniem prądu zasilania jest procesor CC1352R1F3 z najnowszej rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2 firmy Texas Instruments [1]. Układy CC1352R (typu SoC) mają nowy rdzeń główny ARM Cortex-M4F z bardzo rozbudowanymi mechanizmami sprzętowymi debugowania i śledzenia [5]. Drugi rdzeń *Sensor Controller* ma dodane dynamiczne sterowanie poborem mocy. Trzeci rdzeń ARM Cortex-M0 obsługuje komunikację radiową.

W stanie aktywnym rdzeń główny ARM Cortex-M4F (48 MHz, CoreMark) pobiera 2,82 mA (59 µA/MHz) [2]. Jeszcze niższy pobór mocy wykazuje rdzeń *Sensor Controller*. Na przykład przy próbkowaniu ADC co 1 sekundę pobiera tylko 1 µA, w stanie Standby: 0,8 µA (RTC pracuje), w stanie Shutdown: 105 nA (budzenie po przyjęciu sygnału przerwania).

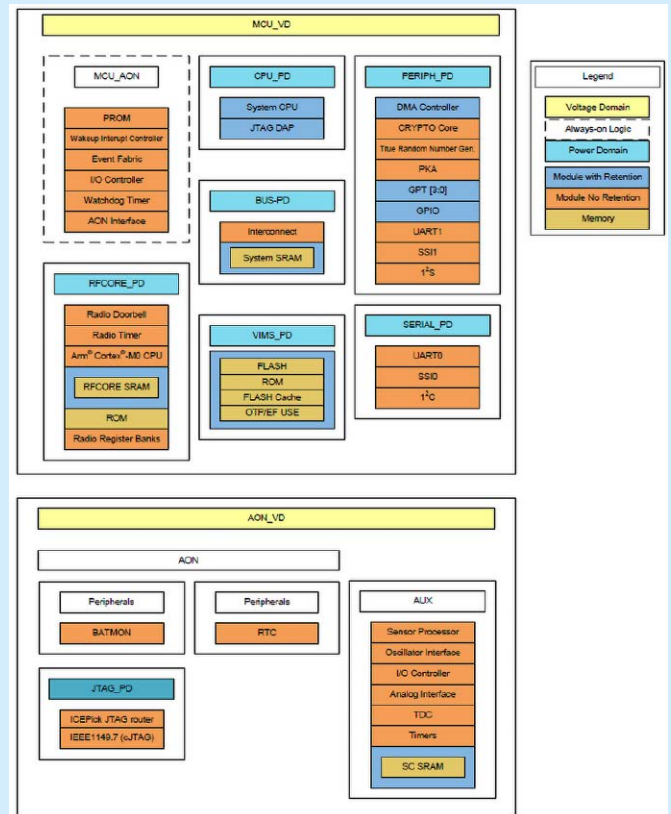
Obecnie (Czerwiec 2018) układ scalony CC1352R jest dostępny z serii przedprodukcyjnej o oznaczeniu XCC1352R1F3. Jest to zaawansowana wersja PG1.1 [4].

Układ SoC zawiera wiele komponentów:

- Układ zasilania: Internal DC/DC Converter, Global LDO, Digital LDO, Micro LDO.
- System CPU: rdzeń M4 z pamięcią Flash, SRAM, Register and CPU retention, SRAM retention, zegar RTC.
- MCU: Sensor Controller z pamięcią SRAM i układami peryferyjnymi.



Rysunek 2. Organizacja systemu zasilania układu CC1352R1F3 [3]



Rysunek 3. Organizacja domen zasilania układu CC1352R1F3 [3]

- Radio: rdzeń M0 z układem komunikacji.
- Rdzeń główny (M4) ma trzy tryby pracy: Run, Sleep oraz Deep sleep. Zasilanie układu ma skomplikowaną budowę i jest sterowane w większości przez oprogramowanie. Organizację systemu zasilania pokazano na **rysunku 2**. Zasilanie układu podzielono na dwie domeny napięciowe (voltage domains): **MCU_VD** oraz **AON_VD**. Każda domena napięciowa jest podzielona na domeny zasilania (power domains). Każda domena zasilania obsługuje moduły cyfrowe. Niektóre moduły mają podtrzymanie zasilania (retention). Umożliwia to zachowanie ich zawartości cyfrowej podczas pracy układu w stanach obniżonej mocy. Organizację domen zasilania i modułów cyfrowych pokazano na **rysunku 3**.
- Moduł cyfrowy do pracy potrzebuje nie tylko zasilania, ale też sygnału taktowania [9]. Oprócz kluczowania zasilania modułów

cyfrowych jest także dostępne programowe kluczowanie sygnałów zegarowych. Umożliwia to dodatkowe szczegółowe sterowanie poziomem mocy.

Zarządzaniem zasilaniem i pracą procesora zajmuje się biblioteka będąca częścią dedykowanego systemu operacyjnego TI-RTOS firmy Texas Instruments [13]. Układ CC1352R1F3 (jako całość) umożliwia pracę w różnych trybach zasilania i zarządzania zasilaniem (definiowanych przez system operacyjny TI-RTOS): Active, Idle, Standby oraz Shutdown [9].

Technologia EnergyTrace

Technologia *EnergyTrace* jest opracowana przez firmę Texas Instruments i udostępniana jako część środowiska programistycznego *Code Composer Studio* [9]. Technologia *EnergyTrace* jest analizatorem mocy zasilania, który pozwala na pomiar prądu zasilania układów scalonych rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2 firmy Texas Instruments. Dane udostępniane są w postaci wykresów oraz zestawienia tabelarycznego.

Pomiary prądu zasilania układu scalonego CC1352R1F3 można wykonywać na dwa różne sposoby (z trochę różnymi nazwami):

- **EnergyTrace++** (EnergyTrace+[CPU State]+[Peripheral States]): Pracuje jako narzędzie do analizy kodu. Umożliwia monitorowanie w czasie rzeczywistym stanów wielu wewnętrznych układów cyfrowych układu SoC podczas pracy aplikacji. Dostępny tylko w trakcie sesji debugowej środowiska CCS.
- **EnergyTrace mode** (bez"+"): Pracuje jako samodzielne (stand-alone) narzędzie do profilowania mocy zasilania. Umożliwia pobranie bufora danych podczas pracy aplikacji na układzie scalonym. Dane udostępniane są przez debugger sprzętowy XDS110 jako transmisja USB. Nie jest wymagane użycie środowiska CCS [9]. Jednak *EnergyTrace mode* jest wygodnie udostępniony w ramach środowiska CCS. Może pracować bez aktywnej sesji debugowej.

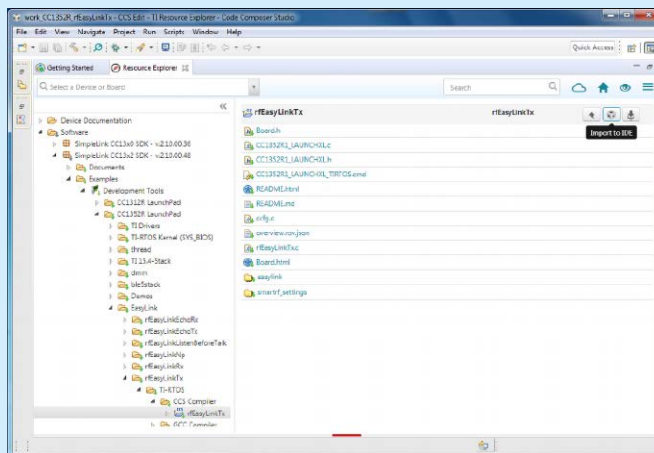
Praca z technologią *EnergyTrace* wymaga użycia środowiska *Code Composer Studio* (CCS) w wersji co najmniej 7.4. Oraz debugera sprzętowego dołączonego do portu emulacyjnego JTAG układu scalonego rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2. Może to być debugger sprzętowy klasy XDS110 znajdujący się na płycie drukowanej zestawu startowego LaunchPad. Wymagane jest, aby układ scalony rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2, był zasilany z debugera sprzętowego.

Pomiar energii

Do pomiaru energii zasilania jest stosowana unikalna metoda ciągłego pomiaru [9]. Główne zasilanie układu scalonego jest generowane przez konwerter DC/DC sterowany programowo. Każdy impuls konwertera DC/DC oznacza dostarczenie odpowiedniej energii do zasilania układu scalonego. Gęstość czasowa tych impulsów bezpośrednio definiuje poziom prądu zasilania. Okresy o dużej gęstości impulsów odpowiadają za duży prąd zasilania. Wbudowany układ kalibracji na bieżąco podaje poziom prądu.

Wartość prądu jest próbkowana z częstotliwością ok. 3...4 kHz. Dla niskich wartości prądu pomiar może zachodzić co ok. 1 ms [11]. Do wykonania pomiarów wymagane jest zasilanie układu scalonego z debugera sprzętowego, czyli z gniazdka USB. Dokładność pomiaru jest zależna od stabilności zasilania 5 V dostarczanego przez port USB komputera [12]. Przed każdą akwizycją danych wykonywana jest kalibracja (szacowana jest energia każdego impulsu). Podczas akwizycji do wyliczania wartości są używane te dane. Dlatego istotna jest stabilność zasilania wejściowego 5 V. Z tego napięcia jest generowane napięcie 3,3 V, zasilania badanego układu scalonego.

Nie są znane parametry pomiaru dla układów scalonych rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2, ale są znane dla rodziny MSP320 z tym samym procesorem ARM Cortex-M4F. Zakres pomiaru prądu:



Rysunek 4. Importowanie projektu *rfEasyLinkTx*

100 mA. Dokładność: $\pm 2\%$ (± 500 nA) dla $I < 25$ mA, $\pm 5\%$ (± 500 nA) dla $I > 25$ mA oraz $I < 75$ mA.

Mierzony poziom prądu zasilania zawiera również prąd zasilania aktywnego stale sprzętowego modułu emulacyjnego układu scalonego. Oraz wyprowadzeń I/O układu scalonego oraz dodatkowych układów sprzętowych mierzonego układu, np. multipleksera sygnału radiowego.

Wykres pomiarowy może wyglądać na zaszumiony. Jednak w procesie pomiarowym nie jest wykonywana filtracja. Co oznacza, że informacja czasowa nie jest tracona. Pomiar układu pracującego bez aktywnego debugera daje bardziej wygładzony wykres.

Zestaw startowy SimpleLink CC1352R1 LaunchPad

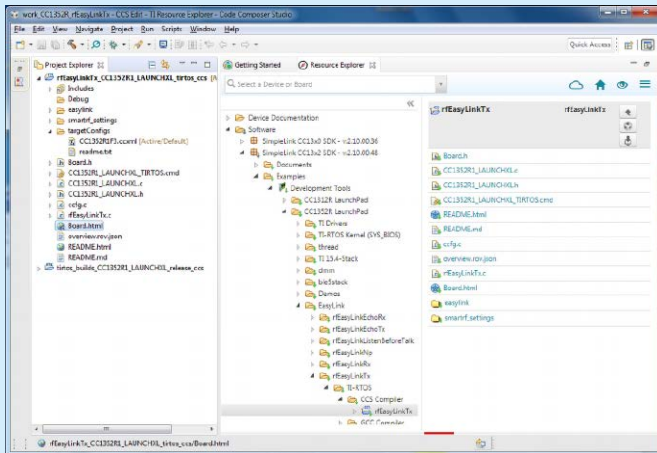
Do eksperymentów z dynamicznym pomiarem prądu z zastosowaniem technologii *EnergyTrace* może być przydatny zestaw CC1352R1 LaunchPad [4]. Jego dokładny opis został zamieszczony w EP5/2018 [S15]. Zestaw startowy SimpleLink Multi-Band CC1352R Wireless MCU LaunchPad Development Kit (LAUNCHXL-CC1352R1) jest wyposażony w układ scalony CC1352R1F3 [1]. Zestaw jest przeznaczony do pracy w pasmach 868 MHz/915 MHz oraz 2,4 GHz. Cała elektronika zestawu CC1352R1 LaunchPad jest umieszczona na jednej wielowarstwowej płycie drukowanej.

Płytkę podzielono na dwie części: u góry płytki jest emulator sprzętowy standardu XDS110 oraz układ monitora zasilania a na dole układ scalony CC1352R. Układ monitorowania pobieranej mocy "EnergyTrace HDR" zawiera rezystor 1Ω , wzmacniacz pomiarowy INA118 oraz 24b przetwornikiem A/C. Według doniesień producenta układ nie pracuje poprawnie ze względu na zbyt wysoki poziom szumu [4]. Planowana jest modyfikacja układu. Obecnie (czerwiec 2018) nie jest udostępnione oprogramowanie do jego użytkowania.

Praca z EnergyTrace mode (ET) w trybie samodzielnym

Podczas eksperymentów została zastosowana aplikacja *rfEasyLinkTx* z pakietu programowego SimpleLink CC13x2 SDK pracująca na procesorze zestawu CC1352R1 LaunchPad [5, S15]. Środowisko w wersji CCS v7.4 pracuje z SDK v.1.60. Nowsza wersja SDK v2.10 wymaga środowiska CCSv8. Opis oprogramowania narzędziowego dla układów CC26xx i CC13xx platformy SimpleLink został zamieszczony w EP11/2017 [S12].

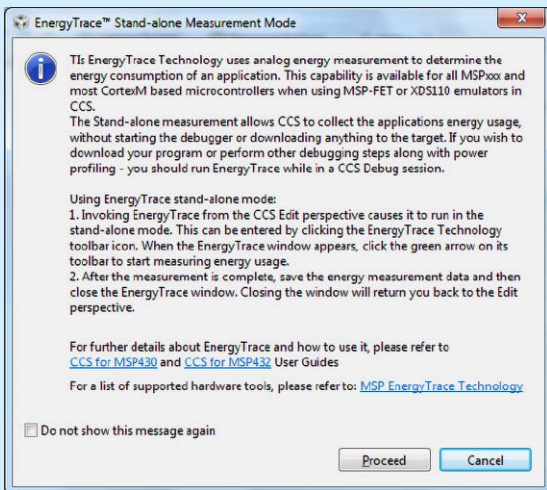
- A1. Dołącz zestaw startowy CC1352R1 LaunchPad do komputera używając kabla USB.
- A2. Wystartuj środowisko CCS. Poczekać na zakończenie sprawdzania aktualizacji środowiska. Jedyń sposób to obserwować informacje o postępie sprawdzania wyświetlane na pasku stanu.



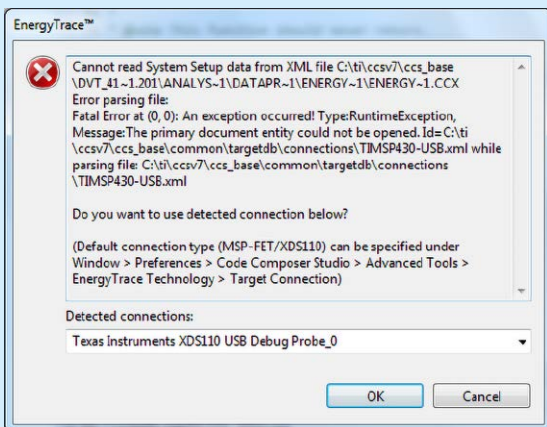
Rysunek 5. Okno perspektywy CCS Edit po załadowaniu projektu rfEasyLinkTx

Importuj projekt aplikacji, której praca ma być monitorowana.

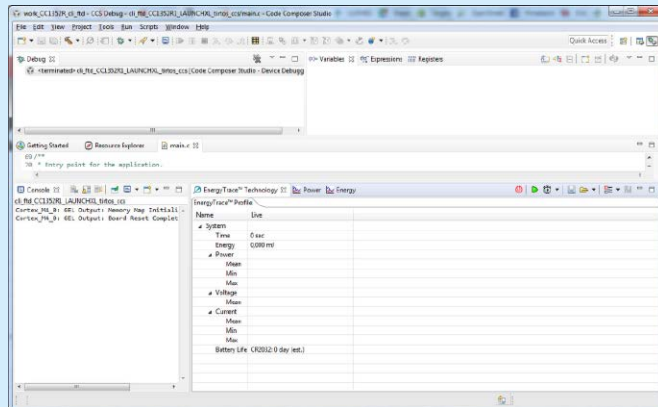
- A3. Kliknij na przycisk *Browse Examples*.
- A4. W oknie *Resource Explorer* rozwiń ścieżkę SimpleLink CC13x2 SDK v:x.xx.xx.xx → Examples → Development Tools → CC1352R LaunchPad → EasyLink → rfEasyLinkTx → TI-R-TOS → CCS Compiler → rfEasyLinkTx
- A5. W prawym oknie kliknij na przycisk *Import to IDE* (rysunek 4).
- A6. W wyświetlanym oknie kliknij na *I Have Read And Agree*.
- A7. Poczekaj na zakończenie pobierania projektu. To może chwilę trwać. Należy obserwować pasek stanu na dole okna.



Rysunek 6. Opis używania technologii EnergyTrace w trybie samodzielnym



Rysunek 7. Opis problemów uruchamiania



Rysunek 8. Pierwsze uruchomienie okna technologii EnergyTrace

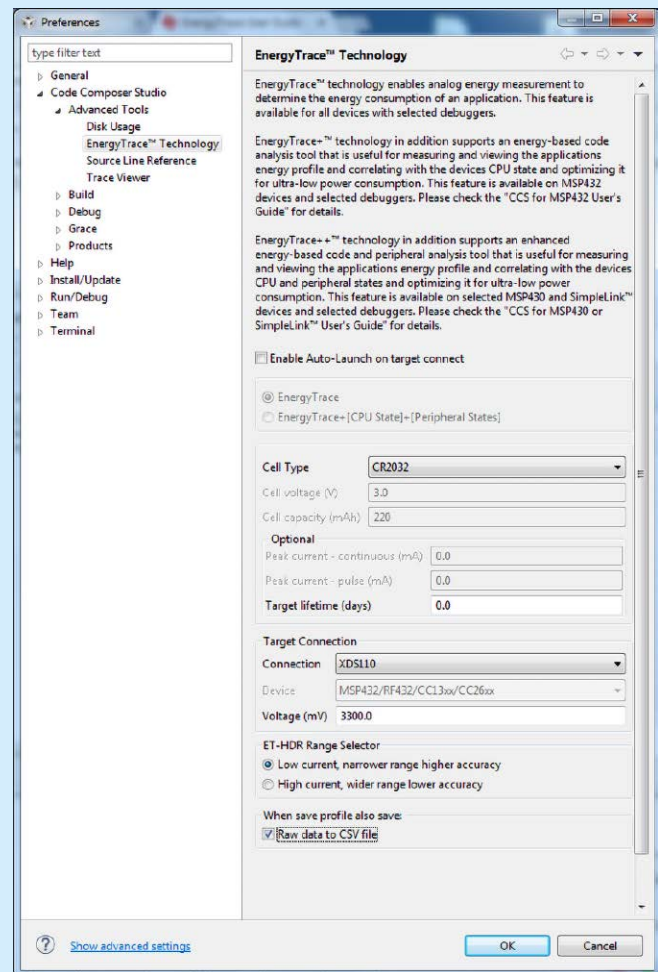
A8. W oknie *Project Explorer* rozwiń drzewo projektu rfEasyLinkTx_CC1352R1_LAUNCHXL_tirtos_ccs.

W dokumencie *README.html* jest zamieszczony opis aplikacji. Można go otworzyć i zobaczyć bezpośrednio w środowisku CCS. Wystarczy dwukliknąć na linię nazwy.

A9. W oknie *Project Explorer* rozwiń gałąź *targetConfigs*. Znajduje się tam plik *CC1352R1F3.ccxml* z definicją konfiguracji sprzętowej. Przyda się on potem (rysunek 5).

A10. Nie trzeba wykonywać budowania projektu. Nie uruchamiaj sesji debugowej. W zasadzie, jedyne co jest potrzebne z projektu to plik definicji konfiguracji sprzętowej *CC1352R1F3.ccxml*. Jest on już zdefiniowany w projekcie.

A11. W perspektywie *CCS Edit* kliknij na pasku menu na przycisk *EnergyTrace Technology*.



Rysunek 9. Ustawianie preferencji technologii EnergyTrace


Zostanie wyświetlone okno z opisem jak używać technologii EnergyTrace w trybie samodzielnym (**rysunek 6**). W opisach pokazywanych w środowisku CCS zostaną wyświetlone odniesienia do rodzin procesorów MSP430 i MSP432. Jest to pozostałość „historyczna”. Obecnie odnosi się to także do procesorów rodziny SimpleLink CC13x2/CC26x2.

A12. Kliknij na przycisk *Proceed*.

Może zostać pokazane okno z opisem problemów (**rysunek 7**). Nie jest jasna przyczyna tego komunikatu. Próba doinstalowania do środowiska CCSv7.4 obsługi procesorów rodzin MSP430 i MSP432 nic nie poprawiła. Również zastosowanie środowiska CCSv8.0 nie pomaga.

A13. Kliknij *OK*. Zostanie otworzona perspektywa *CCS Debug* i w niej zostanie otworzone okno *EnergyTrace* z zakładkami wykresów *Power* i *Energy* (**rysunek 8**).

Podczas pierwszego używania technologii EnergyTrace w środowisku CCS należy poustawiać różne parametry.

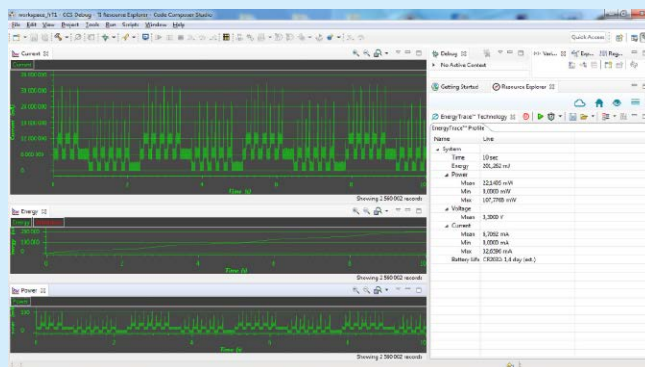
A14. Kliknij na przycisk  *Advanced Menu*.

A15. W podręcznym menu wybierz *Preferences*. Zostanie otworzone okno *Preferences* z opisem technologii EnergyTrace.

A16. W polu *Target Connection* ustaw *Connection* na XDS110 oraz *Voltage* na 3300,0 mV (**rysunek 9**).

Można też wybrać zakres pomiaru prądu. W polu *ET-HDR Range Selector* są do wyboru dwa zakresy: niższy prąd – wyższa dokładność oraz wyższy prąd z niższą dokładnością.

Jest możliwość wyboru typu baterii: CR2032, 2×AAA, 2×AA lub własna (z listą dokładnych parametrów). Charakterystyka baterii




Rysunek 10. Okna z pobranymi danymi


pozwała to na wyliczenie estymowanego czasu pracy baterii z poborem mocy zmierzonym dla badanej aplikacji.

Jest również możliwość zapisu danych pobranych z układu scalonego do pliku typu *.csv. W tym celu należy zaznaczyć *Raw data to CSV file*.

A17. Kliknij *OK*. Zostaną zapisane preferencje.

A18. Kliknij na przycisk  *Select Measurement Duration*. Wybierz długość czasu pobierania danych (10 sec) z układu scalonego.

A19. Kliknij na przycisk  *Start trace collection*.

Rozpocznie się zbieranie danych. Przycisk zmieni się na  *Stops trace collection* umożliwiając zatrzymanie akwizycji. Na pasku stanu (pod paskiem menu) wyświetlane jest odliczanie czasu: „Timer ... 10” (aż do zera). Po zakończeniu zbierania danych w oknie zakładki

Pozostałe artykuły kursu

- S1. Systemy dla Internetu Rzeczy (1). Zestaw CC2650 SensorTag, „Elektronika Praktyczna”, 12/2016
- S2. Systemy dla Internetu Rzeczy (2). Użytkowanie zestawu CC2650 SensorTag, „Elektronika Praktyczna”, 1/2017
- S3. Systemy dla Internetu Rzeczy (3). Moduły rozszerzeń DevPack dla zestawu SensorTag, „Elektronika Praktyczna”, 2/2017
- S4. Systemy dla Internetu Rzeczy (4). Zestaw CC1310 LaunchPad, „Elektronika Praktyczna”, 3/2017
- S5. Systemy dla Internetu Rzeczy (5). System operacyjny czasu rzeczywistego TI-RTOS – pierwszy program, „Elektronika Praktyczna”, 4/2017
- S6. Systemy dla Internetu Rzeczy (6). System operacyjny czasu rzeczywistego TI-RTOS – zadania i przerwania, „Elektronika Praktyczna”, 5/2017
- S7. Systemy dla Internetu Rzeczy (7). Bluetooth Low Energy, „Elektronika Praktyczna”, 6/2017
- S8. Systemy dla Internetu Rzeczy (8). Zestaw startowy CC2650 LaunchPad, „Elektronika Praktyczna”, 7/2017
- S9. Systemy dla Internetu Rzeczy (9). Zestaw startowy CC1350 LaunchPad, „Elektronika Praktyczna”, 9/2017
- S10. Systemy dla Internetu Rzeczy (10). Zestaw CC1350 SensorTag, „Elektronika Praktyczna”, 10/2017
- S11. Systemy dla Internetu Rzeczy (11): Bezprzewodowa sieć czujników z transmisją dwupasmową, „Elektronika Praktyczna”, 11/2017
- S12. Systemy dla Internetu Rzeczy (12): Oprogramowanie narzędziowe dla układów CC26xx i CC13xx platformy SimpleLink, „Elektronika Praktyczna”, 11/2017
- S13. Systemy dla Internetu Rzeczy (13). Zestaw CC26x2R1 LaunchPad, „Elektronika Praktyczna”, 1/2018
- S14. Systemy dla Internetu Rzeczy (14): Podglądanie ruchu w sieci radiowej z protokołem IEEE 802.15.4, „Elektronika Praktyczna”, 2/2018
- S15. Systemy dla Internetu Rzeczy (15): Zestaw CC1352R1 LaunchPad, „Elektronika Praktyczna”, 5/2018

Procesory

1. CC1352R (PREVIEW) SimpleLink Multi-Band CC1352R Wireless MCU, Product Page, <http://www.ti.com/product/cc1352r>

2. CC1352R SimpleLink High-Performance Dual-Band Wireless MCU datasheet, SWRS196, 16 Jan 2018, <http://www.ti.com/lit/gpn/cc1352r>
3. CC13x2, CC26x2 SimpleLink Wireless MCU Technical Reference Manual, 16 Jan 2018, <http://www.ti.com/lit/pdf/swcu185>

Moduły sprzętowe

4. SimpleLink Multi-Band CC1352R Wireless MCU LaunchPad Development Kit, LAUNCHXL-CC1352R1, <http://www.ti.com/tool/launchxl-cc1352r1>

Pakiety programowe

5. SimpleLink CC13x2 Software Development Kit, SIMPLELINK-CC13X2-SDK, 18-Apr-2018, <http://www.ti.com/tool/simplelink-cc13x2-sdk>
6. SimpleLink CC26x2 SW Development Kit, SIMPLELINK-CC26X2-SDK, 09-Apr-2018, <http://www.ti.com/tool/SIMPLELINK-CC26X2-SDK>


Opisy

7. MSP EnergyTrace Technology, <http://www.ti.com/tool/energytrace>
8. TI Resource Explorer (TIREX), <http://dev.ti.com/tirex/#/>
9. SimpleLink SDK Power Management: MSP432, MSP432E4, CC13xx/CC26xx, and CC32xx, User's Guide, SPRUI18H, November 2017, <http://www.ti.com/lit/ug/sprui18h/sprui18h.pdf>
10. EnergyTrace User Guide, SimpleLink CC13X2 TI Thread User's Guide 1.01.00.00, <http://bit.ly/2LLpTAJ>
11. Code Composer Studio v8.x for MSP430 User's Guide, SLAU157AQ, March 2018, <http://www.ti.com/lit/ug/slau157aq/slau157aq.pdf>
12. EnergyTrace for MSP432. TI Wiki, 2 August 2017, <http://bit.ly/2xwXKdE>
13. RTOS Power Management Emerges as a Key for MCU-based IoT Nodes, SPRY282A, 11 May 2017, <http://www.ti.com/lit/pdf/spry282>

SimpleLink Academy

14. SimpleLink SDK – LaunchPad Power Measurements Using EnergyTrace, SimpleLink Academy 2.10.01 for SimpleLink MSP432P4 SDK 2.10, 16-Mar-2018, <http://bit.ly/2J3bxdA>


EnergyTrace Profile są pokazywane obliczone dane. Wykres jest pokazywany w zakładkach Energy oraz Power.


A20. Kliknij na przycisk  *Advanced Menu*.


A21. W podręcznym menu wybierz *Show graphs*. Pojawia się teraz nowa zakładka *Current*.

A22. Wybierz zakładkę *Current*.

Można okna zakładek przeciągać do innych miejsc okna perspektywy w celu jednoczesnego oglądania (rysunek 10). Wykres prądu jest skalowany w nA, co umożliwia zobaczenie, że prąd szczytowy przekracza 30 mA. W oknie *EnergyTrace Technology* możemy się przekonać, że wynosi 32,8846 mA. Tam jest pokazywany też wynik pomiaru napięcia zasilania. Wynosi on dokładnie 3,300 V.

Gromadzone dane mają bardzo dużą rozdzielczość czasową. Dlatego użyteczne informacje mogą być widoczne po rozciągnięciu wykresu. Środowisko CCS pamięta ostatnie ustawienia *EnergyTrace* w folderze roboczym projektu. Przy ponownym załadowaniu projektu zostaną użyte ostatnie ustawienia, np. rozmieszczenie okien. Pracę z *EnergyTrace* można zakończyć klikając na przycisk  *Terminate EnergyTrace*. Wszystkie okna *EnergyTrace* w perspektywie *CCS Debug* są zamykane i CCS przechodzi do perspektywy *CCS Edit*.

Ponowne uruchomienie – kliknięcie na przycisk  *EnergyTrace Technology* powoduje przejście do perspektywy *CCS Debug* i otworenie okien *EnergyTrace* i wykresów *Energy* i *Current*. Gdzieś się zgubiło okno wykresu *Power*. Nie pomagają wybranie polecenia *Show graphs*.

Jeśli incydentalnie zostaną zamknięte wszystkie okna *EnergyTrace* to ikonka przycisk  *EnergyTrace Technology* jest nieaktywna. Można je ponownie otworzyć z menu *View* → *Other* → *EnergyTrace Technology*.

Preferencje można też ustawić z menu *Window* → *Preferences* → *Code Composer Studio* → *Advanced Tools* → *EnergyTrace™ Technology* [12].



Praca z EnergyTrace mode (ET) podczas sesji debugowej środowiska CCS



Podczas sesji debugowej środowiska CCS też można pracować z *EnergyTrace mode (ET)*. Uzyskane rezultaty powinny być podobne do poprzednich. Jednak dodatkowo pracuje sprzętowy blok debugowy (JTAG) mierzonego układu scalonego, który pobiera dodatkowy prąd zasilania [12].


Wykonaj zaprogramowanie układu scalonego CC1352R1F3.


B1. W perspektywie *CCS Edit* kliknij na przycisk  „*Debug*”.

B2. Powoduje to uruchomienie sesji debugowej i zaprogramowanie pamięci Flash procesora. Program zostanie uruchomiony do pierwszej instrukcji funkcji *main()*. I tam jest automatycznie zatrzymany na przerwaniu.

B3. W perspektywie *CCS Debug* kliknij na przycisk  *EnergyTrace Technology*. Uruchomiane jest narzędzie *EnergyTrace* i pokazane zostaje okno *EnergyTrace Technology*. W oknie *EnergyTrace Technology* kliknięcie na przycisk  *Switch to EnergyTrace++* przełącza pomiędzy trybami pracy.

B4. Jeśli jest aktywny tryb *EnergyTrace++* to to w oknie *EnergyTrace Technology* przycisk  jest „wciśnięty”. Wtedy kliknij na przycisk  *Switch to EnergyTrace*.

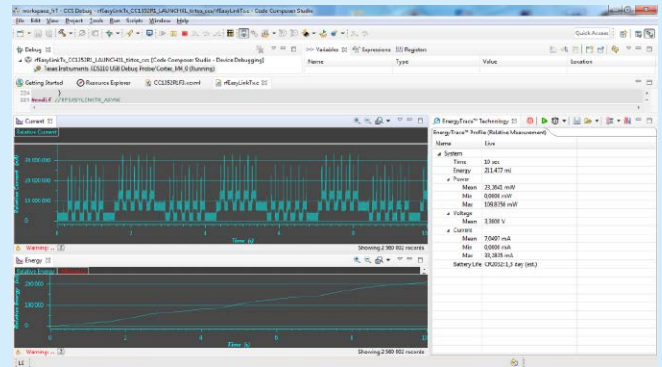
B5. Następnie należy wybrać długość czasu akwizycji danych i kliknąć na przycisk  *Start trace collection*.

B6. Kliknij na przycisk  „*Resume*”.

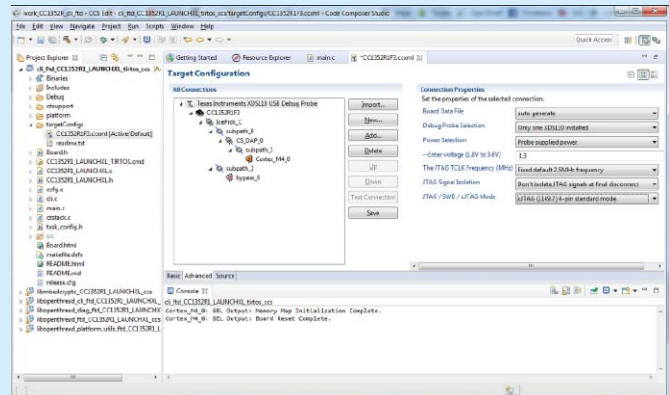
Przykładowy rezultat akwizycji pracy aplikacji *rfEasyLinkTx* pokazano na rysunku 11. Uzyskany obecnie rezultat jest bardzo podobny do tego uzyskanego w poprzednim kroku. Dalej nie ma okna wykresu *Power*.

Praca z EnergyTrace++


Ten tryb pracy jest dostępny tylko w trakcie sesji debugowej środowiska CCS. Podczas eksperymentów z trybem *EnergyTrace++* została zastosowana ta samo co przednio aplikacja *rfEasyLinkTx*.



Rysunek 11. Okna przy pracy z *EnergyTrace mode* podczas sesji debugowej



Rysunek 12. Ustawianie parametrów pracy emulatora sprzętowego

- C1. Dołącz zestaw startowy CC1352R1 LaunchPad do komputera używając kabla USB.
- C2. Wystartuj środowisko CCS.
- C3. Importuj projekt aplikacji, której praca ma być monitorowana (opis powyżej).
- C4. Wykonaj jej budowanie. Kliknij na przycisk  „*Build*”. Nie uruchamiaj sesji debugowej.

Teraz trzeba zmienić tryb pracy emulatora sprzętowego na *4-pin c/JTAG*. Zmiany zostaną wprowadzone do pliku *Target Configuration*.

- C5. W perspektywie *CCS Edit*, w oknie *Project Explorer* rozwiń gałąź *targetConfigs*.
- C6. Dwukliknij na plik *CC1352R1F3.ccxml*.


Ustawienia konfiguracji sprzętowej zostaną pokazane w oknie edycyjnym *CC1352R1F3.ccxml*.

- C7. Na dole tego okna wybierz zakładkę *Advanced*.
- C8. W panelu *All Connections* kliknij na linię najwyższego poziomu (Texas Instruments XDS110 USB Debug Probe).
- C9. W panelu *Connection Properties* zmień ustawienia pozycji *JTAG/SWD/cJTAG Mode*. Z listy wyboru ustaw to *cJTAG (1149.7) 4-pin standard mode* (rysunek 12).


C10. W panelu *All Connections* kliknij na przycisk *Save*.


C11. Zamknij okno edycyjne *CC1352R1F3.ccxml*.

Zaprogramuj układ scalony CC1352R1F3.

C12. Kliknij na przycisk  „*Debug*”.

C13. Powoduje to uruchomienie sesji debugowej i zaprogramowanie pamięci Flash procesora. Program zostanie uruchomiony do pierwszej instrukcji funkcji *main()*. I tam jest automatycznie zatrzymany na przerwaniu.

C14. W perspektywie *CCS Debug* kliknij na przycisk  *EnergyTrace Technology*. Uruchomiane jest narzędzie *EnergyTrace* i pokazane zostaje okno *EnergyTrace Technology*. Na razie nie tam nie ma.

C15. W oknie *EnergyTrace Technology* kliknij na przycisk  *Switch to EnergyTrace++*.

Wnioski

Problemy z poprawnością instalacji CCS mogą powodować różne kłopoty. Akwizycja danych może wcale nie wystartować lub może być przerywana z komunikatem: „Bad Energy trace data was detected in the trace stream”. Zdarza się też komunikat: „Target current exceeded the maximum current supported by EnergyTrace”. Czasami start akwizycji powoduje zamknięcie całego środowiska CCS.

Kłopot ze zrozumieniem przebiegów stanu modułów cyfrowych polega na tym, że zarządzaniem zasilania (i przebiegami zegarowymi) zajmują się z poziomu programu biblioteki i system operacyjny TI-RTOS. I dopiero zapoznanie się ze szczegółami budowy układu SOC oraz dedykowanego oprogramowania pozwala na odpowiednią interpretację wyników. A użytkownik widzi to poprzez udostępnione API programowe.

Narzędzie *EnergyTrace*, szczególnie w wersji *EnergyTrace++* może być bardzo pomocne w uruchamianiu tak skomplikowanych

układów SoC, jak układy serii CC13x2/CC26x2. Szczegółowy wgląd w stan pracy modułów cyfrowych układu z uwzględnieniem zależności czasowej jest unikalny i bezcenny. Takiego wglądu nie zapewnia profesjonalny analizator mocy zasilania.

Obecnie zarówno układy serii CC13x2/CC26x2 są fazy przedprodukcyjnej, jak i ich zestawy startowe LaunchPad. Opis narzędzi *EnergyTrace* dla układów tej serii też pokazał się „pokątnie” w dokumentacji standardu Thread. Pomimo sporej powierzchowności tego opisu, już teraz udostępnione są olbrzymie możliwości dynamicznej analizy szczegółów pracy zasilania wewnętrznych bloków cyfrowych tych układów scalonych. W połączeniu z dynamiczną analizą pracy wątków systemu operacyjnego TI-RTOS [S5, S6] może to być potężne narzędzie wnikliwej analizy i optymalizacji pracy zaawansowanych systemów Internetu Rzeczy.

Henryk A. Kowalski
kowalski@ii.pw.edu.pl

KONKURS



Wygraj Microchip MPLAB PICKit 4 In-Circuit Debugger

Firma Microchip organizuje dla czytelników Elektroniki Praktycznej konkurs, w ramach którego mogą wygrać debugger Microchip MPLAB PICKit 4 In-Circuit Debugger (model PG164140). Jest to narzędzie pozwalające na szybkie debugowanie i programowanie mikrokontrolerów PIC i dsPIC, przy jednoczesnym wykorzystaniu graficznego środowiska MPLAB X IDE. MPLAB PICKit 4 jest szybszy niż jego poprzednik, gdyż zawiera 32-bitowy mikrokontroler SAME70, taktowany zegarem 300 MHz. Może też współpracować z szerszym zakresem napięć programowanego układu oraz obsługuje takie zaawansowane interfejsy, jak 4-przewodowy JTAG i SWD ze strumieniowaniem Data Gateway. Dodatkowo jest wstecznie kompatybilny z podzespołami korzystający z 2-przewodowego JTAGa i ICSP.

MPLAB PICKit 4 podłącza się do komputera przez interfejs USB 2.0, a do programowanego układu za pomocą 8-pinowego złącza SIL. Aktualnie MPLAB PICKit In-Circuit Debugger/Programmer nie obsługuje jeszcze wszystkich układów PIC i dsPIC, ale jest stale aktualizowany, by wspierać nowe podzespoły.

Aby wziąć udział w konkursie wystarczy zarejestrować się pod adresem:
<http://page.microchip.com/eprak-PICKit4.html>.

