

# VYUŽITIE SMART METERINGU V DOMÁCNOSTI

*Miroslav Podstavek*

KVES EF ŽU v Žiline

Univerzita 1, 010 08 Žilina, Slovenská republika

email: miro.podstavek@gmail.com

**Abstrakt:** Článok v úvode popisuje smart metering ako základný inteligentný merací systém pre smart grids. Neskôr sa text špecializuje na jeho využitie pri riadení odberu elektrickej energie v domácnosti. Za týmto účelom bol vytvorený model smart domu, ktorý v spolupráci so smart metrom (vývojovou doskou) DEMOEM simuluje možnosti smart meteringu v domácnosti.

**Kľúčové slová:** smart meter, inteligentný merací systém, smart grids, Freescale DEMOEM.

## 1 Úvod

Rozvoj výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov a vzrast nárokov na množstvo a kvalitu dodávanej energie vedie k čoraz väčšej implementácii informačných technológií do distribučnej a prenosovej sústavy. Tento fakt získa veľkú dôležitosť aj pri blízkej prevádzke čoraz väčšieho počtu elektromobilov a nabíjaní ich batérií. Je nutné preto hľadať stále nové spôsoby riadenia rovnováhy medzi výrobou a spotrebou nie len na celoštátnej alebo regionálnej úrovni, ale aj na lokálnej. Riešením na najbližšie desaťročie sa zdá byť inteligentná energia, vo svete známa ako smart energy.

Pod pojmom inteligentná energia sa ukrývajú tri podzložky – smart generation, smart grids a smart consumptions (inteligentná výroba, inteligentné siete a inteligentná spotreba). Riadenie výroby a prenosu elektrickej energie a čiastočne aj spotreby je v dnešnej dobe v prevažnej miere ovplyvňované dispečerským riadením. V prípade využitia myšlienky inteligentnej energie bude musieť byť toto riadenie rozšírené o inteligentný systém, ktorý bude samostatne, bez častého zásahu dispečera rozhodovať o manipulácií so zdrojmi a spotrebami elektrickej energie. Základnou zložkou takéhoto systému je meracie zariadenie – smart meter, ktoré okrem merania dokáže komunikovať s nadradenou sústavou.

Využitie smart metra sa označuje ako smart metering, čo sa v slovenskej legislatíve prekladá pojmom inteligentný merací systém. Ako bolo už spomenuté, smart meter je základným prvkom inteligentných sietí a zabezpečuje obojsmernú komunikáciu medzi distribučnou sústavou a miestom spotreby alebo výroby elektrickej energie, meranie a automatické riadenie. Rovnaké zastúpenie bude zohrávať v prípade malých ostrovných inteligentných sieťach, kde sa okrem merania, vyhodnocovania a spínania bude podieľať na riadení využitia miest spotreby alebo výroby elektrickej energie.

Skôr, ako sa inteligentné siete stanú realitou, smart metering nájde uplatnenie práve v metrológií. Monitorovanie a diaľkový odpočet sú jednými z prvých benefitov, ktoré smart metering poskytuje v pilotných programoch niektorých európskych štátov. O výsledkoch je síce pomerne skoro hovoriť, ale distribučné spoločnosti, ktoré sa zúčastnili spomenutých programov, uvádzajú znižovanie zaťažovania sústav, ich rovnomernejšie zaťažovanie v rámci denného diagramu spotreby, ľahší, rýchlejší a pohodlnejší odpočet, predchádzanie výpadkom, ich lokalizácia, obmedzenie počtu čiernych odberov a ich detekcia [1]. Na reálne výsledky použiteľné v praxi si však nejaký čas budeme musieť počkať.

Cieľ tohto projektu je popísať a v praxi odskúšať využitie smart metra v bežnej domácnosti. Bežná slovenská domácnosť sa od odberných miest rozličných firiem, na ktorých prebiehajú spomínané pilotné programy, odlišuje predovšetkým množstvom spotrebovanej energie a regulačným charakterom záťaže, čo znemožňuje použiť získané výsledky pre aplikáciu v domácnosti.

V súčasnosti, okrem zopár nadšencov, ktorí si z vlastnej iniciatívy namontovali smart metre, neprebíha žiadna rozsiahla skúšobná prevádzka ich domáceho použitia. Tento projekt chce preto analyzovať charakter zariadení spotreby a výroby elektrickej energie v domácnosti, ich možnosť regulácie a spolupráci so smart metrom, ako aj efektívnosť využitia smart metra vzhľadom na jeho ďalšie funkcie.

## 2 Smart metering v domácnosti

Súčasťou projektu je vytvorenie modelu smart domu a prakticky na ňom odskúšať využitie smart meteringu, jeho efektívnosť vzhľadom na financie a reguláciu zaťaženia sústavy. Celý demonštračný objekt pozostáva teda zo smart metra a samotného modelu smart domu, ktorý možno rozdeliť na 4 základné bloky:

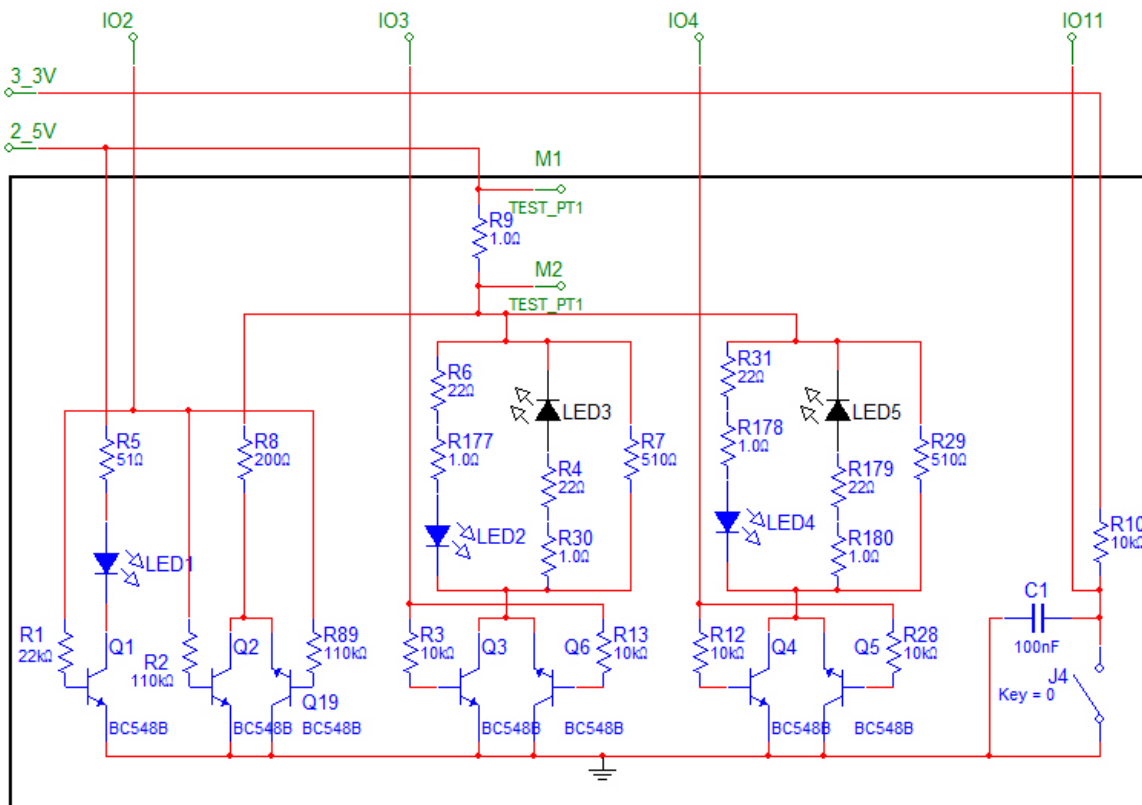
- blok spotreby,
- blok merania,
- blok dispečerského riadenia,
- blok napájania.

### 2.1 Blok spotreby

Pre riadenie spotreby boli zvolené fiktívne spotrebiče, ktoré vzhľadom na svoj výkon a bežné použitie v domácnosti sa približujú reálnej domácnosti. Odoberaný prúd, napätie a výkon (v mierke 1:1000, 1:100 a 1:100 000) sú zabezpečené rezistormi a LED diódami, ktoré okrem funkcie spotreby slúžia predovšetkým ako signalizácia. Napätie má sínusový priebeh s efektívnou hodnotou 2,5 V. Spínanie je zabezpečené NPN tranzistormi, ktorých bázy sú otvárané impulzmi z portov smart metra a sledovanie stavu spotrebičov je prostredníctvom logických hodnôt, ktoré sa manuálne modulujú pomocou vypínačov a tlačidiel. V prípade potreby by preto nebolo zložité nahradiť ručné nastavovanie stavu spotrebiča automatickým prvkom.

Z modelu elektrického vykurovania, ktoré je uvedené na nasledujúcej strane na obrázku 2.1, možno vidieť reguláciu výkonu, ktorá je vzhľadom na náročnosť modelu zjednodušená, tak ako pri všetkých spotrebičoch, na niekoľko výkonových stupňov:

- elektrické vykurovanie (2 – 10 -18 kW),
- klimatizácia (1 – 5 – 10 kW),
- bojler (0,1 – 15 – 30 kW),
- práčka (0,75 kW),
- umývačka riadov (1 kW),
- nabíjačka batérie elektromobilu (3,7 – 50 kW).



**Obr. 1.1:** Model elektrického vykurovania je postavený na rezistoroch a diódach.

Hoci je použitá iba odporová záťaž, meranie ukázalo, že priebeh prúdu, ktorý je vo fáze s napätím, nie je lineárny. Je to spôsobené LED diódami, ktoré sa otvárajú pri určitej úrovni napätia. Ďalšou nevýhodou spôsobenou použitím NPN tranzistorov je nemožnosť fyzického odpojenia napätia od spotrebiča. Riešenie v zapojení s PNP tranzistorami by síce tento problém odstránilo, čo by však malo za následok zvýšenie úbytku napätia, ktoré by vzhľadom na pretekajúci prúd mohlo dosiahnuť hodnoty od 0,7 V do 1,7 V, prípadne vyššie. Istým problémom, ktorý si vyžaduje dodatočné technické riešenie je fakt, že na zatvorenie tranzistorov prenášajúcich zápornú polvlnu musí byť na ich bázu privedené záporné napätie rovnajúce sa amplitúde sínusovej vlny.

V reálnom zapojení by sa však spomínané problémy neobjavili kvôli tomu, že namiesto spínania tranzistorami by bolo použité spínanie relé zariadeniami a odber by nebol v podstatnej miere diódového charakteru. Neharmonický priebeh reálneho prúdu by však mohol byť spôsobený RLC záťažou, ktorá v modeli nie je uvažovaná.

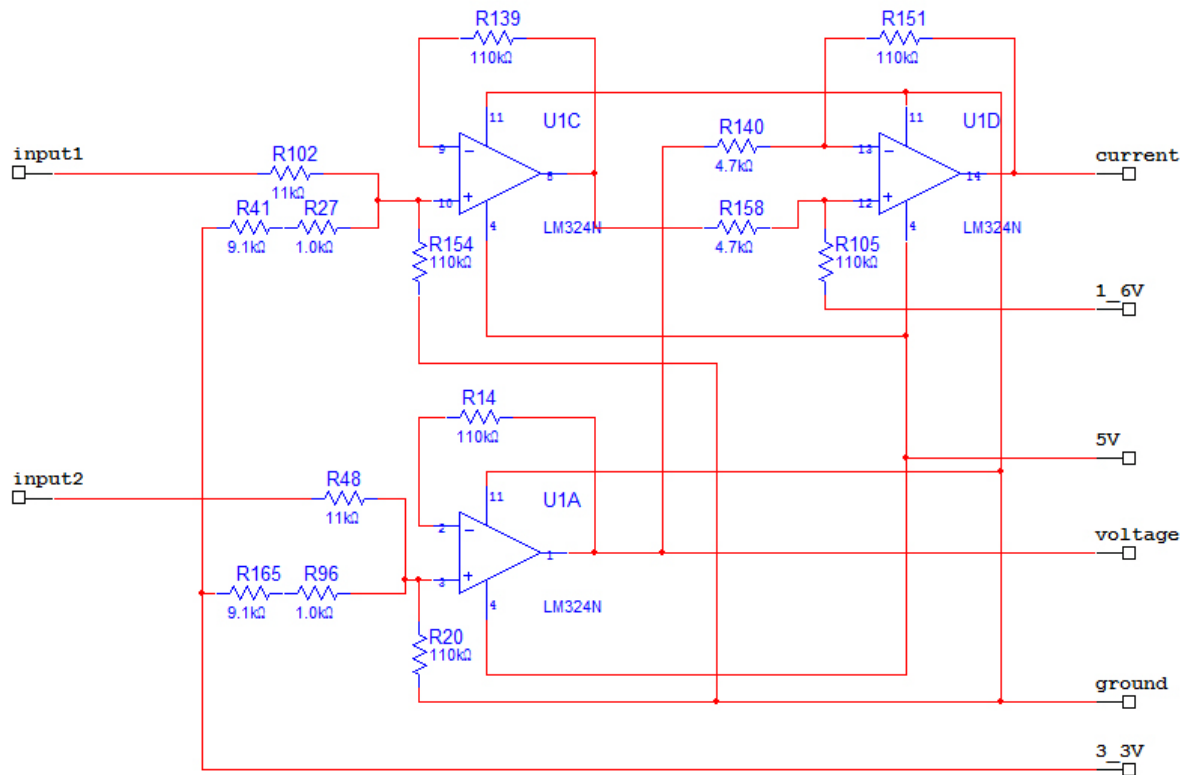
## 2.2 Blok merania

Meranie je jednou z podstatných zložiek celého modelu, ak nie najpodstatnejšou. Veď samotný názov smart metering hovorí o meraní. Blok merania zobrazený na obrázku 2.2 (nasledujúca strana) využíva operačné zosilňovače na úpravu signálu - vzhľadom na použitý smart meter je nutné transformovať všetky merané vstupy na napäťové rozmedzie 0 – 3,2 V.

Meranie prebieha na meracom odpore zapojeným medzi vstup *input1* a *input2* (na obrázku 2.1 sa jedná o odpor R9 medzi portami M1 a M2). Do vstupu *input2* vstupuje napätie, ktoré sa rovnako ako signál zo vstupu *input1*, superponuje prostredníctvom neinvertného zapojenia operačného sumátora na hodnotu +1,6 V. Hodnoty rezistorov operačných sumátorov U1A a U1C zároveň zoslabujú signál, aby bol v rozmedzí 0 – 3,2 V.

Výstup z operačného zosilňovača U1A je napätovým vstupom do A/D prevodníka smart metra a zároveň diferenčným vstupom do zosilňovača U1D.

Meranie prúdu je postavené na zisťovaní úbytku napätia na odpore, ktoré vyhodnocuje diferenčný zosilňovač U1D a generuje výstupný signál tak, aby pri prúde 100 mA dosahoval maxima 0 a 3,2 V. Takto upravený signál na výstupe *current* je vstupným signálom do A/D prevodníka na meranie prúdu.



**Obr. 2.2:** Schéma meracieho bloku zaradeného pred každý spotrebič.

Pri reálnom riadení spotrebičov meranie neprebíha prostredníctvom meracieho odporu. Využívané sú meracie transformátory prúdu a napätia alebo rôzne sondy. V obidvoch prípadoch prvý stupeň úpravy signálu operačnými zosilňovačmi U1A a U1C je nutný pri použití procesorov digitálnych signálov (DSP) alebo mikrokontrolórov (DSC, MCU).

### 2.3 Blok dispečerského riadenia

Smart metering, ako bolo viackrát spomínané v teoretickej časti, má využitie pri zabezpečovaní stabilného chodu sústavy ako podporný prvok inteligentných sietí. Komunikácia s dispečingom prebieha na základe logických hodnôt 1 a 0 nastavovaných vypínačmi a tlačidlami. Medzi dispečerské možnosti riadenia patrí:

- Kontrola stavu pripojenia – detekcia pripojenia alebo výpadku napätia modeluje benefit rýchlejšej lokalizácie porúch.
- Požiadavka na vypnutie / zapnutie – spínanie prívodu elektrickej energie je prostredníctvom relé, ktoré je riadené smart metrom. Je tak zabezpečené dopojenie zákazníka, ktorý produkuje elektrickú energiu, v prípade údržby na elektrickej sieti.
- voľba tarify – vysoká alebo nízka cena elektrickej energie sa nastavuje vypínačom. Modeluje sa tak aktuálna situácia na trhu s elektrickou energiou, kedy poznáme iba

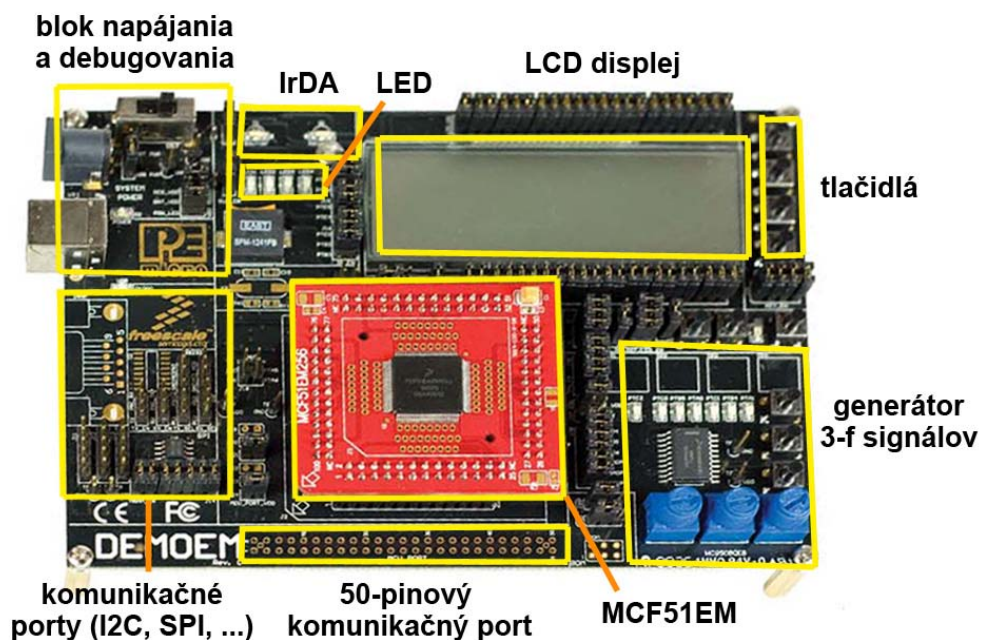
niekoľko pevných taríf, ktoré sa v čase dynamicky nemenia. Ak by sa otvoril trh a ceny elektrickej energie by sa menili v kratších intervaloch, bolo by nutné zaviesť komunikačný kanál, prostredníctvom ktorého by sa získavali informácie o aktuálnej cene.

- požiadavka na spotrebu – nastavovanie spotreby na úrovne *zvýšiť/neutrál/znížiť* modeluje technickú výpomoc pri riadení sústavy. táto vlastnosť bude žiadaná predovšetkým pri nabíjaní automobilov alebo pri veľkých odberných zariadeniach.

Hoci komunikácia s dispečingom funguje na veľmi základnej úrovni, pre daný model postačuje. Pri reálnej prevádzke by bolo nevyhnutné zaviesť iný spôsob komunikácie, a to napríklad cez WAN alebo GPRS. Údaje by sa posielali a získavali v istom pakete, ktorý by obsahoval súhrn viacerých informácií – výsledky z merania, záznamy o výpadkoch, o odoberanom výkone, flexibilné tarify, požiadavky na odber a iné. Takýto variant si však vyžaduje komplexné riešenie, ktoré vzhľadom na rozsah nie je účelom tohto projektu.

## 2.4 Smart meter DEMOEM

Smart meter predstavuje v tomto projekte vývojová doska MCF51EM DEMO, ktorá je poskytovaná firmou Freescale ako pomôcka pre vývoj smart metrov. Základom celého kitu je mikrokontrolór MCF51EM256 ColdFire V1, z ktorého sú vyvedené všetky porty na dosku. Niektoré z nich priamo do periférií ako napríklad LCD displej, tlačidlá, LED diódy, IrDA alebo do generátora signálov, ktorý predstavuje samostatný mikrokontrolór. Na vývojovej doske sú tiež umiestnené porty pre komunikačné kanály – RS232, I2C, SPI, ... Dôležitou časťou je napájací a debugovací obvod, pričom programovanie a zároveň aj napájanie je riešené cez jeden USB port, čo zjednodušuje vývoj [2].



Obr. 2.3 Vývojový kit MCF51EM DEMO slúžiaci pre vývoj smart metrov [2].

Pre aplikáciu vyvíjanú v rámci tohto projektu je dôležitý 50-pinový port J1 s priamym pripojením na mikrokontrolór MCF51EM256, LCD displej a 4 programovateľné tlačidlá. Ako periférne porty sa využívajú všeobecné vstupno-výstupné porty (GPIO) a porty ADC prevodníka (ADC). Hoci port J1 obsahuje až 50 pinov, nie všetky sú použiteľné ako GPIO a ADC porty. Navyše, funkcia niektorých pinov je kumulovaná s viacerými perifériami [3].

Model domácnosti so smart meteringom potrebuje 31 (+4) GPIO a 12 ADC portov. Avšak, port J1 umožňuje, vzhľadom na čo najlepšie zapojenie, obsadenie 25 GPIO a 8 ADC kanálov. Chýbajúce porty sú doplnené z pinov LCD displeja, ktorý zaberá takmer 60 portov mikrokontrolóra. Spomínaná metóda doplnenia portov má za príčinu zrušenie troch posledných znakov na LCD displeji, čo však na funkčnosť aplikácie nemá vplyv.

### **3 Záver**

Projekt využitia smart meteringu za pomoci vývojového kitu DEMOEM názorne demonštruje možnosť inteligentného riadenia spotrebičov a dáva tak nový pohľad na vývoj situácie v riadení elektrizačných sústav. Zavádzanie smart technológií je podnietené nie len efektívnym využívaním elektrickej energie, ale aj udrzaním bezpečnej prevádzky a to predovšetkým pri použití obnoviteľných zdrojov elektrickej energie a nabíjaním elektromobilov.

Hoci smart metering spolu so smart gridmi je len v zrode, výsledky niekoľkých projektov, ku ktorým sa pripájajú aj závery tejto práce, dávajú zelenú a je len otázka času, kedy smart technológie v oblasti energetiky vyjdú z tieňa financií.

Smart meter okrem benefitov pre dispečerov elektrizačnej sústavy sľubujú výhody aj pre vlastných užívateľov. V prípade prepojenia alebo zlúčenia s inteligentným domom sa môže vytvoriť komplexný systém, ktorý bude splňať komfort užívateľa a zároveň bude šetriť energiu a financie.

Pred zavedením smart metra do ostrej prevádzky je však ešte dlhá cesta, ale je len otázka času, kedy sa na nej stretnú zákazníci a distribučné spoločnosti a dohodnú sa, že nakoniec ten smart metering predsa len skúsia.

### **Podakovanie**

Tento príspevok vznikol za podpory spoločnosti Freescale Semiconductor, Inc. a Katedry výkonových elektrotechnických systémov Elektrotechnickej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline. Zvláštno podakovanie patrí Ing. Petrovi Bracníkovi, Phd. za inšpiráciu a povzbudenia pri zdanlivo neriešiteľných problémoch.

### **Zoznam literatúry**

- [1] JURIS, A.: *Smart siete už nie sú iba vzdialená budúcnosť*. Energetika – špeciálna príloha denníka Hospodárske noviny, vol. 206, pp. 1335-4701, Okt. 2011.
- [2] P&E Microcomputer Systems: *DEMOEM User Manual*, 2009
- [3] Freescale: *MCF51EM256 Series ColdFire® Integrated Microcontroller Reference Manual*, MCF51EM256RM 2009