

# Alessandro F. Cunha

## O que são sistemas embarcados?

### 1. Introdução

Alguma vez você já se deu conta que o microondas de sua casa tem uma capacidade computacional maior do que tinha o projeto Apollo, que levou o homem a lua? Uma tendência que se observa é que cada vez mais inteligência será adicionada aos equipamentos do dia-a-dia. E ao contrário do que alguns filmes de ficção científica previam, como em “2001 – Uma odisséia no espaço” e seu supercomputador Hall, o controle, as decisões e o gerenciamento não serão concentrados em um único computador central, mas serão distribuídos entre todos os elementos de um ambiente. Embarcar inteligência em equipamentos é a tendência futura. Vejamos então o que são os sistemas embarcados.

### 2. O que são os sistemas embarcados?

Colocar capacidade computacional dentro de um circuito integrado, equipamento ou sistema. Esta é uma definição para o que é um sistema embarcado. Note que um sistema como este deve ser mais do que um simples computador. É um sistema completo e independente, mas preparado para realizar apenas uma determinada tarefa.

O usuário final não terá acesso ao programa que foi embutido no dispositivo, mas poderá interagir com o equipamento através de interfaces como teclados, displays, etc. desde que o sistema tenha sido projetado para tanto.

Voltando ao exemplo do forno de microondas, ao pressionar uma tecla como PIPOCA, um sistema interno deve saber ajustar a potência correta, selecionar e medir o tempo em que o forno deve ficar acionado e emitir um sinal quando a tarefa for concluída.

Para executar esta simples operação, o “cérebro” do forno deve receber sinais de sensores (como o da porta, para saber se a mesma foi realmente fechada), fazer acionamento do equipamento de potência, calcular o tempo da operação, acionar o motor que fará a rotação do prato, permitir que o usuário interrompa a operação a qualquer tempo, atualizar o *display*, medir quanto tempo se passou desde o início da operação, etc. Ufa!

Diferente dos computadores, que rodam sistemas operacionais como base para que outros aplicativos diversos sejam instalados e utilizados (cada um para uma aplicação diferente), os sistemas embarcados são construídos para executar apenas uma tarefa pré-determinada. Muitas vezes não tem flexibilidade (de software e de hardware) que os permita fazer outra tarefa qualquer que não sejam aquelas para qual foram desenhados e desenvolvidos.

A única flexibilidade permitida e desejada é no caso de um upgrade de novas versões, fazendo com que o sistema possa ser re-programado, geralmente com correções ou novas funções que o tornam melhores. Mas isto sempre é feito pelos fabricantes e quase nunca pelos usuários finais.

Há então a necessidade de um “cérebro” que gere todo o funcionamento deste sistema. Um microprocessador ou microcontrolador é a opção ideal para esta função, já que ambos têm capacidade de fazer a leitura de sinais externos, executar programas com as tarefas a serem feitas, processar os sinais e enviar para atuadores os resultados esperados.

Quem programa e desenvolve sistemas embarcados costuma pensar neles como entradas, saídas, processamento, memórias, ambiente onde será utilizado, etc., como pode ser visto na [figura 01](#). Já o usuário final se preocupa apenas em como utilizar este sistema e o que ele agrega de valor a um produto, em termos de redução de custos, aumento de funcionalidade, aumento de desempenho, etc.

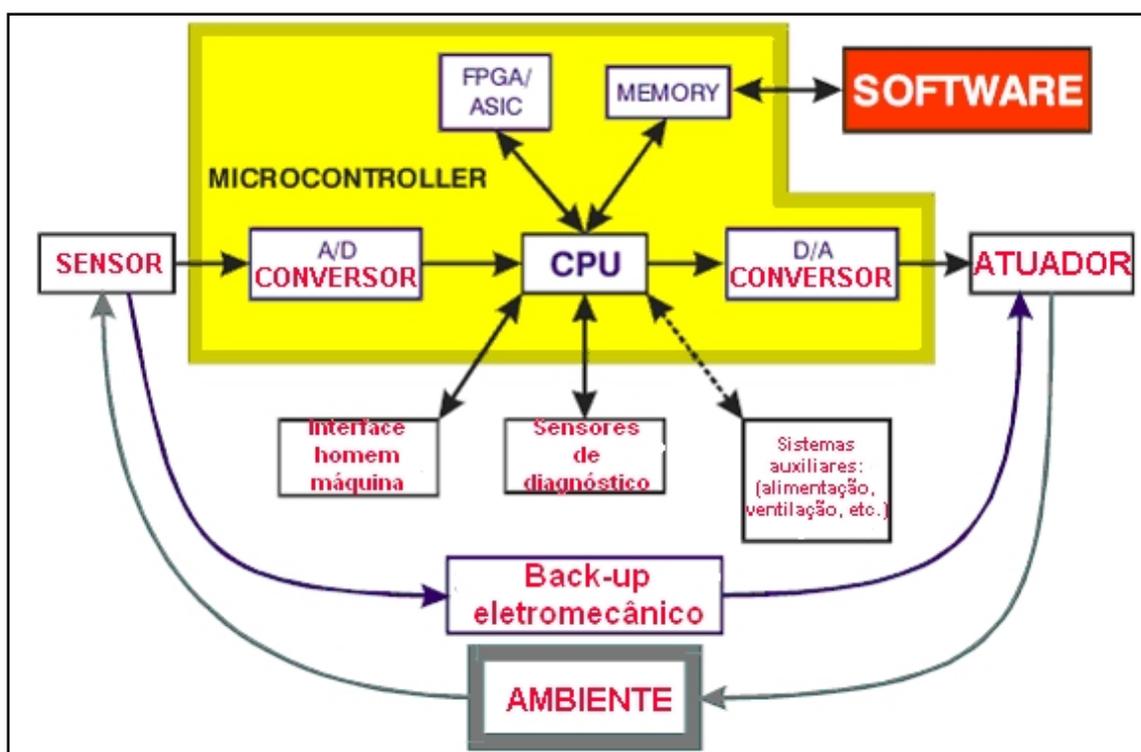


Figura 01 – Elementos básicos de um sistema embarcado.

### 3. Características de um sistema embarcado

Como principais características de um sistema embarcado tem-se a sua capacidade computacional e a sua independência de operação. Outros aspectos relevantes são referentes aos tipos de sistemas, modos de funcionamento e itens desejados em aplicações embarcadas.

#### 3.1. Tipos de aplicações de sistemas embarcados

- **Propósito geral:** são as aplicações mais parecidas com os computadores de mesa, mas em embalagens embarcadas. Nelas costuma haver grande interação entre os usuários e o sistema, geralmente através de terminais de vídeo ou monitores. Como exemplo tem-se os videogames, os conversores de TV a cabo, caixas de bancos, etc.
- **Sistemas de controle:** controles em malha fechada com realimentação em tempo real. Geralmente são as aplicações mais robustas, com placas dedicadas e múltiplos sensores de entrada e saída. Muitas vezes fornecem pouca interação com o usuário, mostrando sinalizações através de LEDs. Usados nos motores de automóveis, processos químicos, controle de vôo, usinas nucleares, etc.
- **Processamento de sinais:** onde envolve um grande volume de informação a ser processada em curto espaço de tempo. Os sinais a serem tratados são digitalizados através de ADs, processados, e novamente convertidos em sinais analógicos por DAs. Caso de tratamento de áudio, filtros, modems, compressão de vídeo, radares e sonares, etc.
- **Comunicações e redes:** chaveamento e distribuição de informações. Sistemas de telefonia e telecomunicações e internet.

#### 3.2. Modos de funcionamento de sistemas embarcados

Os dois modos de funcionamento dos sistemas embarcados, apresentados abaixo, são determinantes para saber como programar o dispositivo e como será seu funcionamento e comportamento na aplicação para o qual foi desenhado.

- **Reativo:** o funcionamento se dá como resposta a eventos externos, que podem ser periódicos (caso de sistemas rotacionais ou de controles de loop) ou assíncronos (pressionamento de um botão por parte do usuário). Há, então, uma necessidade de entrada de dados para que aconteçam as ações de funcionamento. Geralmente não há limite de tempo para que os sinais de entrada sejam acionados, pois dependem da interação com o usuário ou com o processo ao qual é destinado. Porém, a saída, função do sinal de entrada, deve ser realizada exatamente após os sinais de entrada começar a atuar.
  
- **Controle em tempo real:** existem limites de tempo para executar cada tarefa (leitura de sensor, emissão de sinais para um atuador, atualização de display, etc.). Por isso mesmo, nem sempre tempo real é igual ao modo mais rápido de executar uma tarefa. Estes modo de operação, por serem cíclicos, não dependem da entrada se sinais para executar as atividades, sendo capaz de tomar decisões referentes a ausência dos mesmo. Os sistemas de tempos real são classificados em:
  - **Soft Real Time:** As tarefas **podem** ser executadas em um intervalo de tempo específico, sem conseqüências graves se este limite de tempo não for cumprido. Um exemplo é um sistema bancário, onde apenas uma mensagem de erro aparecerá se determinada tarefa não for realizada dentro do tempo pré-determinado. A maior preocupação durante a programação dos dispositivos é relativa a repetição de procedimentos que podem ter sua prazo estourado e sobre as mensagens de alerta ao usuário.
  
  - **Hard Real Time:** As tarefas **devem** ser executadas em um tempo específico, com conseqüências graves se qualquer tarefa falhar. Como exemplo pode-se pensar nos sistemas de controle de um avião, onde uma falha pode resultar em queda e perdas de vidas. A maior preocupação durante a programação dos dispositivos é relativa a ter sempre sistemas redundantes (duplicados) que empecam ou alertem imediatamente caso algum processo falhe ou não seja executado dentro do tempo pré-determinado.

### 3.3. O que é desejável em um sistema embarcado?

As características mais desejadas em sistemas embarcados são:

- **Tamanho e peso:** sempre os menores possíveis. Com a crescente miniaturização dos equipamentos eletroeletrônicos, os itens tamanho e peso são fatores decisivos na competitividade de um produto. Sem contar os custos envolvidos no envio de equipamentos grandes e pesados, já que um usuário pode adquirir um sistema embarcado em qualquer parte do mundo.
- **Consumo de energia:** quanto maior for a autonomia do sistema e menor for sua necessidade de recarga ou troca de sistema de alimentação, mais competitivo será o produto, sem contar que as atuais legislações referentes ao consumo de energia prevêm a necessidade cada vez maior de eficiência energética.
- **Robustez do equipamento:** muitos sistemas embarcados são projetados para trabalhar em ambientes com condições adversas (vibrações, calor, poeira, variações na tensão de alimentação, interferências eletromagnéticas, raios, umidade, corrosão, etc.). É necessário resistir bravamente a todas estas interferências e sobreviver.

## 4. Exemplos de aplicações embarcadas

Os sistemas embarcados estão a nossa volta e estamos de certo modo tão envolvidos por eles que nem nos damos conta de que determinado dispositivo trata-se de um sistema embarcado.

Alguns exemplos que podem ser citados, com suas respectivas características são:

### 4.1. Aplicações embarcadas no setor automotivo

Um veículo *top* de linha é um excelente exemplo de um complexo sistema literalmente “embarcado”. Centenas de sensores fornecem informações sobre todo o funcionamento do veículo. Várias unidades de processamento independentes atuam em regiões diferentes e se comunicam entre si, captando os sinais destes sensores e fazendo com que as ações referentes a cada caso sejam tomadas.

Esta comunicação geralmente se dá através de redes cujo protocolo CAN tem se tornado o padrão. Isto acontece desde a central que memoriza a posição dos bancos, espelhos, volante, etc. para cada usuário do veículo até a central que gerencia o funcionamento do motor.

Esta rede de comunicação, além de permitir total interação entre as diferentes áreas internas do veículo, faz com que haja uma grande diminuição da fiação interna, já que todos os elementos se conectam a rede por apenas dois fios, que constituem um barramento de comunicação. A [figura 02](#) ilustra esta situação.

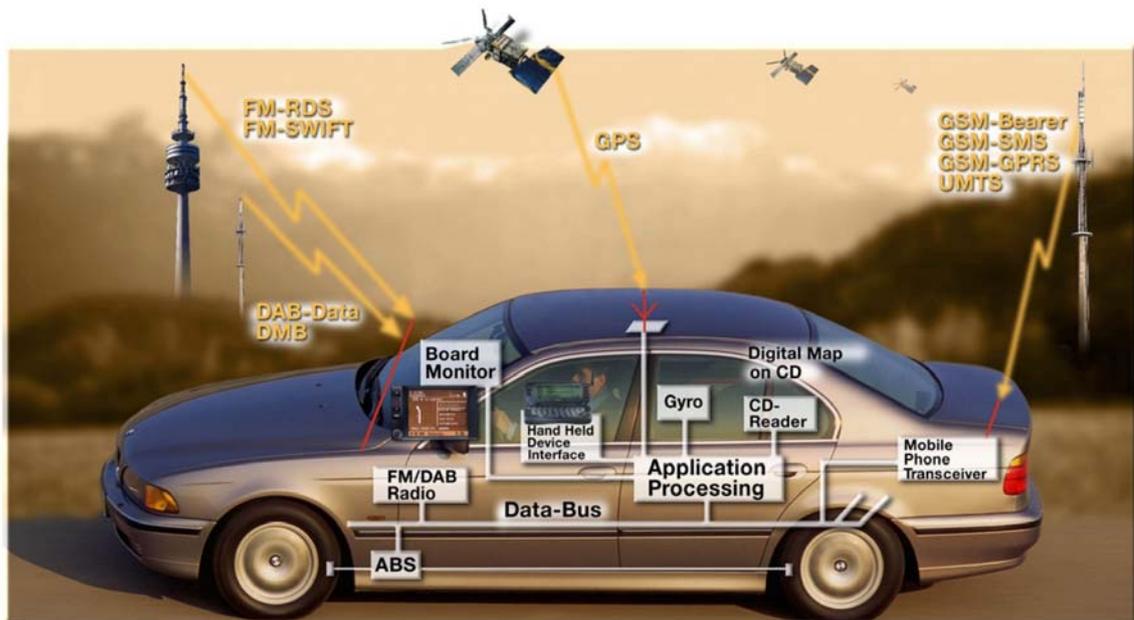


Figura 02 – Vários sistemas embarcados em um automóvel, se comunicando por barramento CAN.

## 4.2. Aplicações embarcadas em chips

Está se tornando cada vez mais comum o surgimento de chips que são um sistema inteiro em uma única pastilha, também conhecidos como SoC (Systems on Chip). É o caso de microcontroladores que já tem embutidos sensores (temperatura, pressão, etc.), transmissores (RF), interfaces gráficas para displays, etc.

Como exemplo é mostrado na [figura 03](#) o diagrama em blocos do microcontrolador MC68HC908RF2, da Freescale, que já tem uma unidade transmissora e receptora de RF. Isto permite montar um sistema embarcado que se comunique sem fios com outros elementos, criando uma rede wireless.

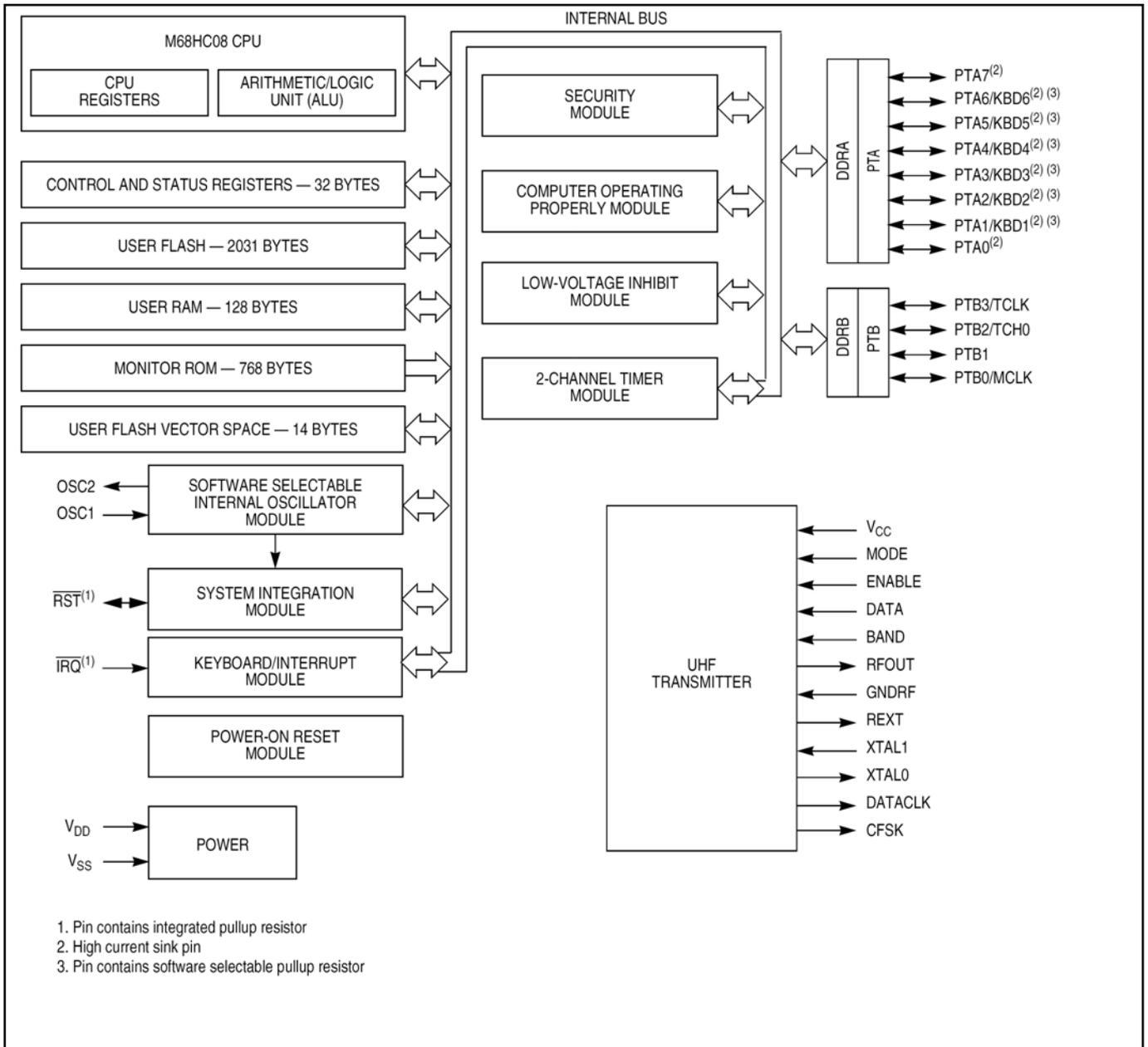
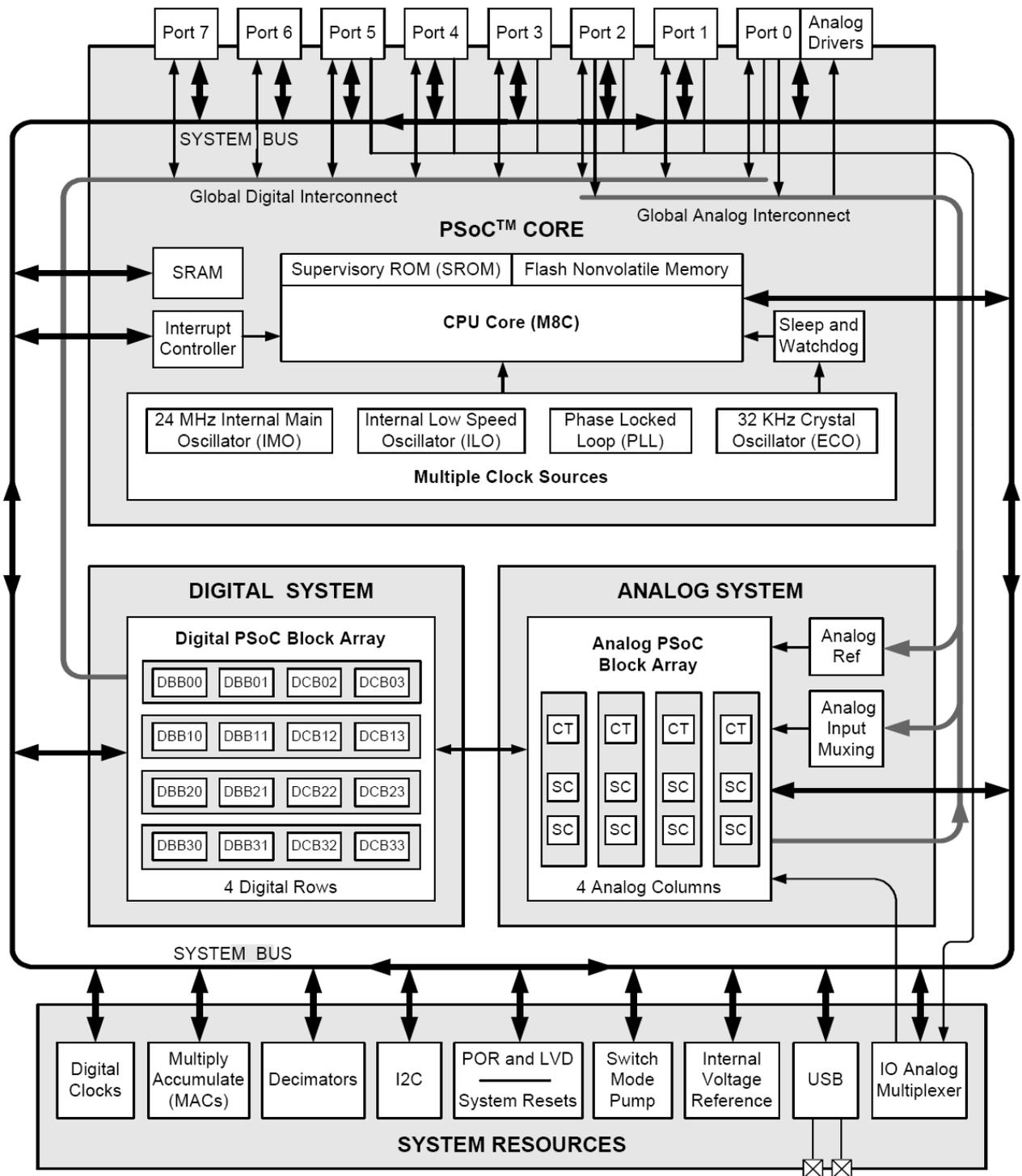


Figura 03 – Diagrama em blocos do  $\mu$ C MC68HC908RF2, da Freescale.

Uma evolução ainda mais poderosa deste conceito é o PSoC (*Programmable System on Chip*), um microcontrolador fabricado pela Cypress. Nele uma CPU com arquitetura Harvard pode ser interligada via software a diversos periféricos disponíveis, entre funções analógicas, digitais e de comunicações, criando um CI que estará customizado para uma determinada aplicação.

Pode ser dizer que cada usuário será capaz de montar seu sistema embarcado, com as características necessárias ao seu projeto. O diagrama em blocos básico desta arquitetura é mostrado na [figura 04](#).



PSoC Top-Level Block Diagram

Figura 04 – Diagrama em blocos do PSoC, da Cypress.