

Elettrotecnica – Introduzione al corso (AA 2022/2023)

Ingegneria Informatica e dell'Informazione; 9 cfu

argomento principale: studio dei circuiti e delle reti elettriche

finalità:

-introdurre metodi sistematici, di applicabilità generale, per l'analisi di circuiti e di reti elettriche

-discutere i principi di funzionamento di alcune classi importanti di circuiti usati nelle applicazioni

Fisica II: considerate tecniche elementari per analisi di circuiti

Elettrotecnica: metodi sistematici impiegati nelle applicazioni tecniche

diviso in tre parti: P1, P2, P3, ognuna di circa 3cfu (vedi programma dettagliato)

P1

Relazioni Costitutive di Bipoli e Multipoli Elettrici

Analisi di Reti Resistive (senza memoria, adinamiche)

Reti Resistive Elementari

Teoremi sulle Reti Resistive Lineari

Metodi Generali per l'Analisi di Reti Resistive

Relazioni Costitutive di Bipoli e Multipoli Elettrici

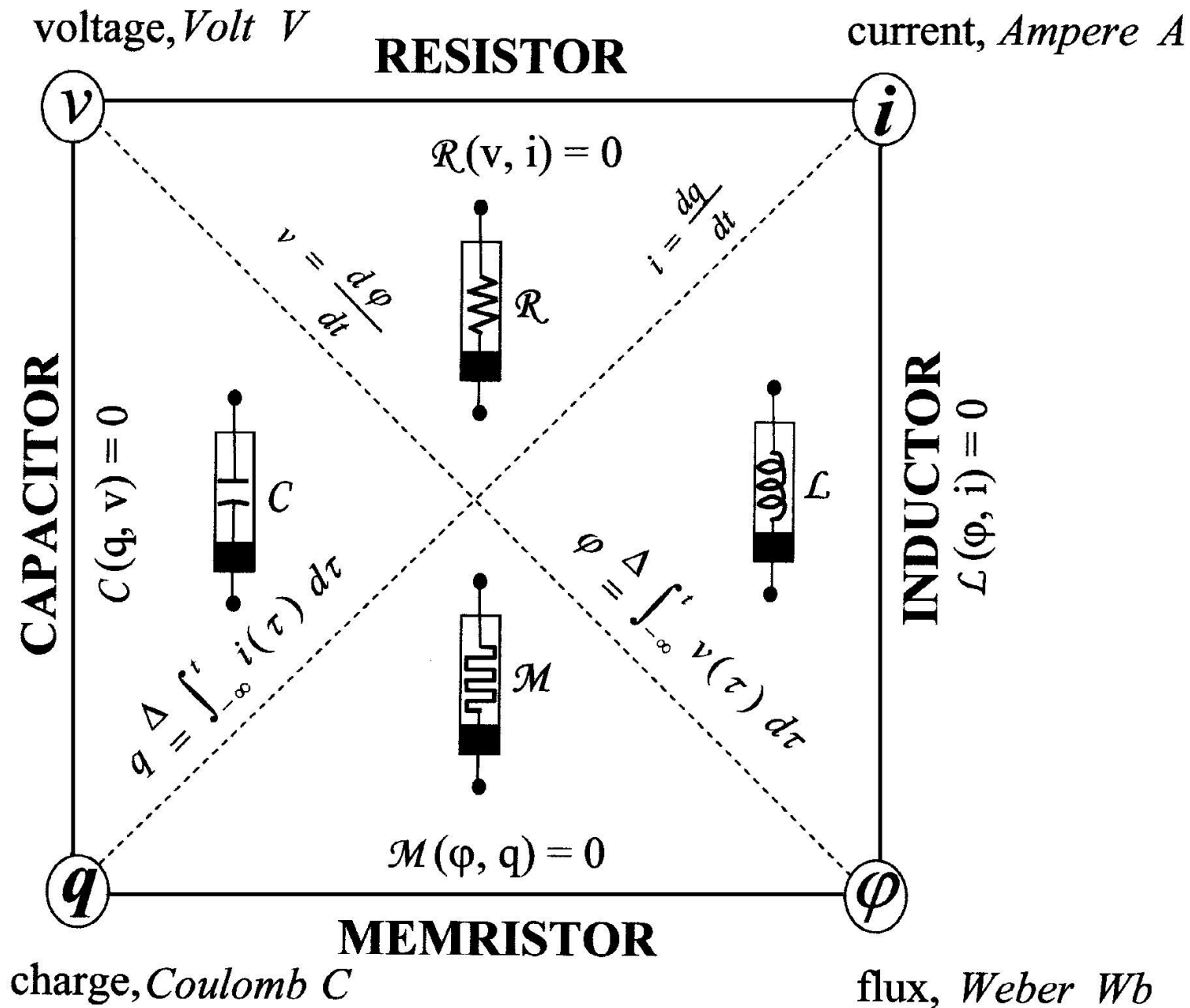
Elementi circuitali con cui si realizzano le reti elettriche:

- tradizionali: **elementi passivi** a due morsetti; R, L, C, ...;
richiami dalla Fisica II
- non tradizionali: **elementi attivi**;
elementi a più di 2 morsetti (transistor, generatori controllati, amplificatore
operazionale)

introdotti immediatamente in modo che il loro impiego appaia naturale

importanza in particolare per elettronica

L'elemento circuitale dimenticato...



Memristor—The Missing Circuit Element

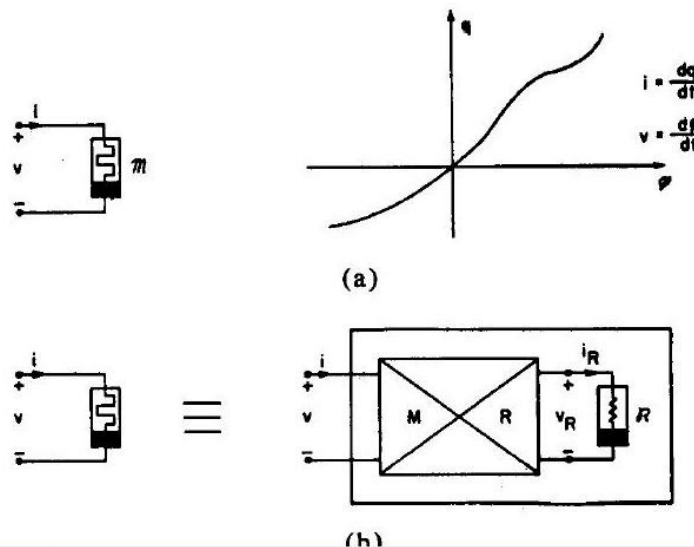
LEON O. CHUA, SENIOR MEMBER, IEEE

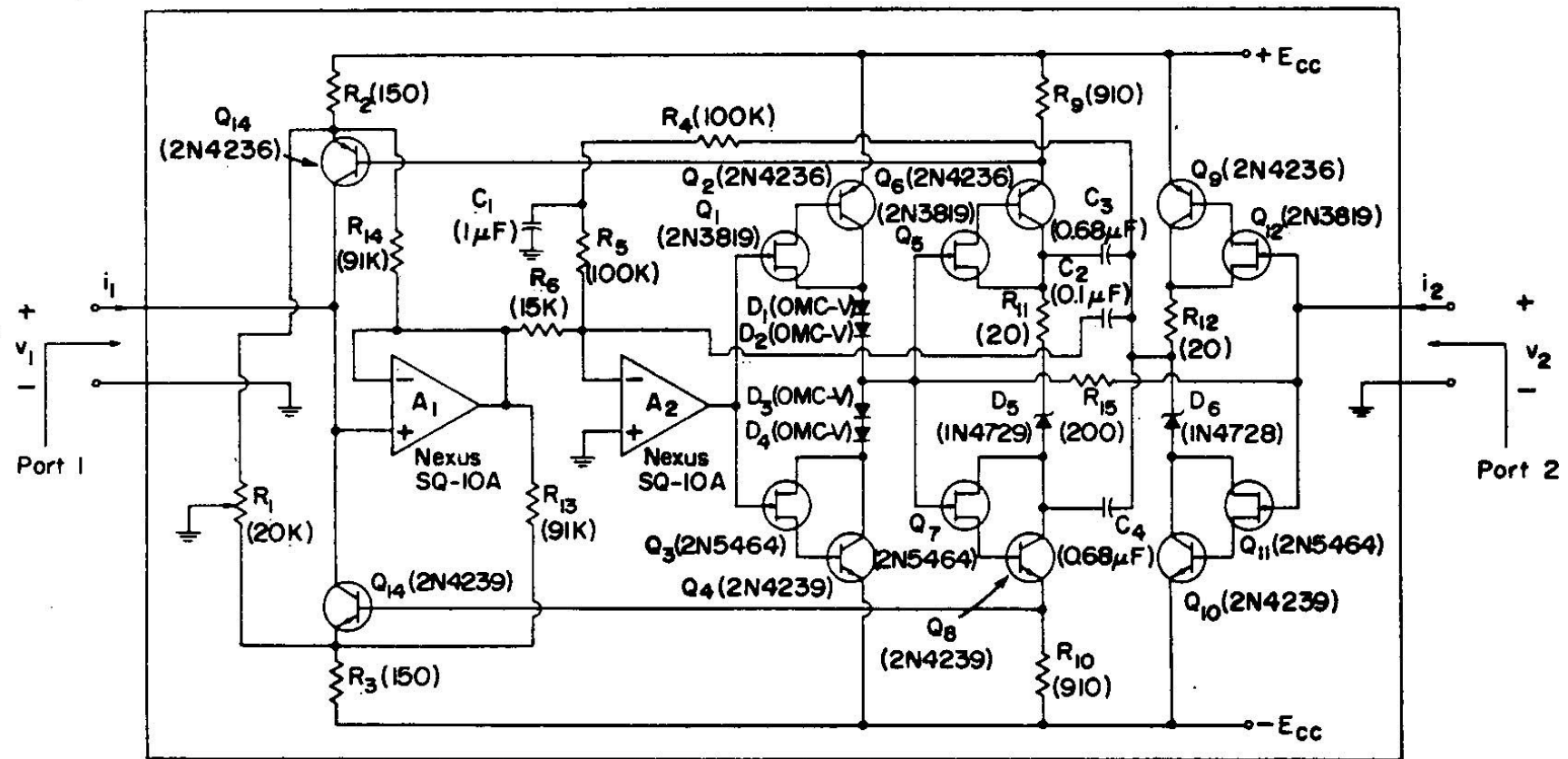
Abstract—A new two-terminal circuit element—called the *memristor*—characterized by a relationship between the charge $q(t) \equiv \int_{-\infty}^t i(\tau) d\tau$ and the flux-linkage $\varphi(t) \equiv \int_{-\infty}^t v(\tau) d\tau$ is introduced as the *fourth basic circuit element*. An electromagnetic field interpretation of this relationship in terms of a quasi-static expansion of Maxwell's equations is presented. Many circuit-theoretic properties of memristors are derived. It is shown that this element exhibits some peculiar behavior different from that exhibited by resistors, inductors, or capacitors. These properties lead to a number of unique applications which cannot be realized with RLC networks alone.

Although a physical memristor device without internal power supply has not yet been discovered, operational laboratory models have been built with the help of active circuits. Experimental results are presented to demonstrate the properties and potential applications of memristors.

I. INTRODUCTION

THIS PAPER presents the logical and scientific basis for the existence of a new two-terminal circuit element





Rete due porte che implementa un mutatore.

LETTERS

The missing memristor found

Dmitri B. Strukov¹, Gregory S. Snider¹, Duncan R. Stewart¹ & R. Stanley Williams¹

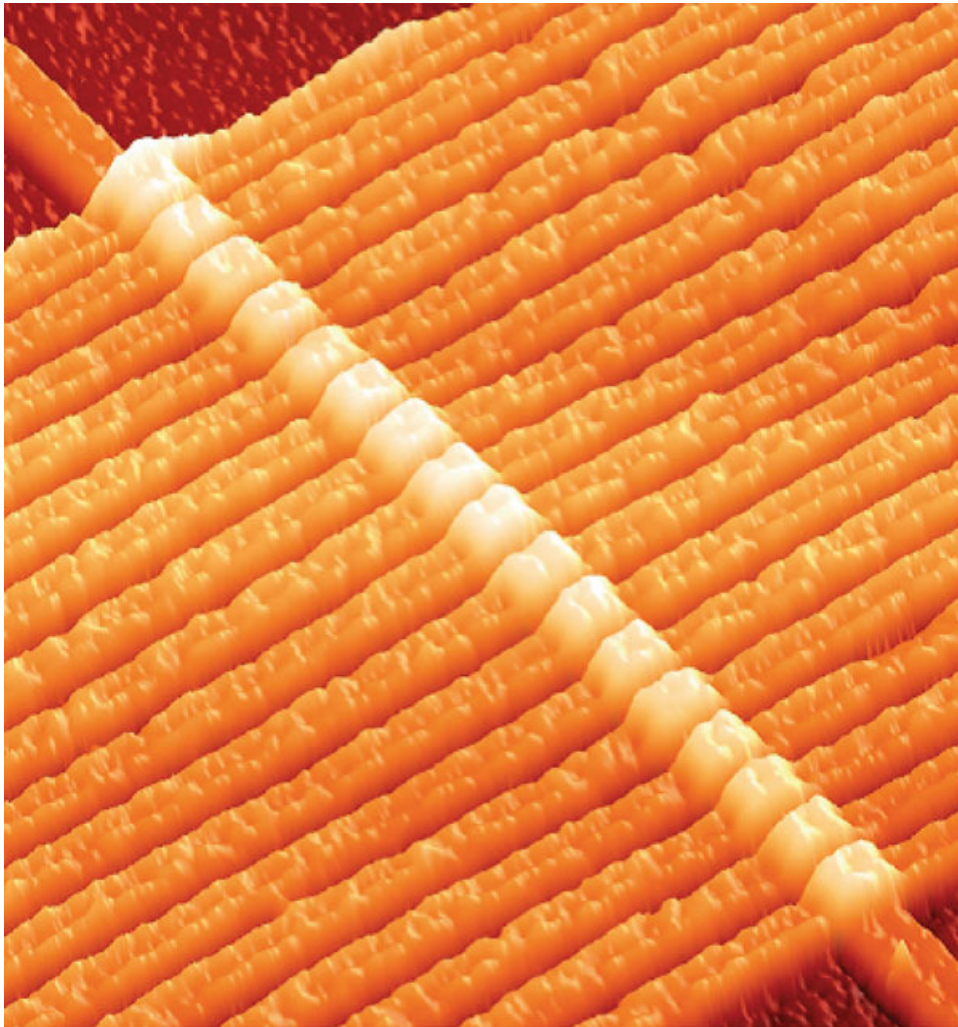
Anyone who ever took an electronics laboratory class will be familiar with the fundamental passive circuit elements: the resistor, the capacitor and the inductor. However, in 1971 Leon Chua reasoned from symmetry arguments that there should be a fourth fundamental element, which he called a memristor (short for memory resistor)¹. Although he showed that such an element has many interesting and valuable circuit properties, until now no one has presented either a useful physical model or an example of a memristor. Here we show, using a simple analytical example, that memristance arises naturally in nanoscale systems in which solid-state electronic and ionic transport are coupled under an external bias voltage. These results serve as the foundation for understanding a

propose a physical model that satisfies these simple equations. In 1976 Chua and Kang generalized the memristor concept to a much broader class of nonlinear dynamical systems they called memristive systems²³, described by the equations

$$v = \mathcal{R}(w, i)i \quad (3)$$

$$\frac{dw}{dt} = f(w, i) \quad (4)$$

where w can be a set of state variables and $\mathcal{R}$ and f can in general be explicit functions of time. Here, for simplicity, we restrict the discussion to current-controlled, time-invariant, one-port devices. Note that, unlike in a memristor, the flux in memristive systems is no



Schiera di memristor HP in nanotecnologia.

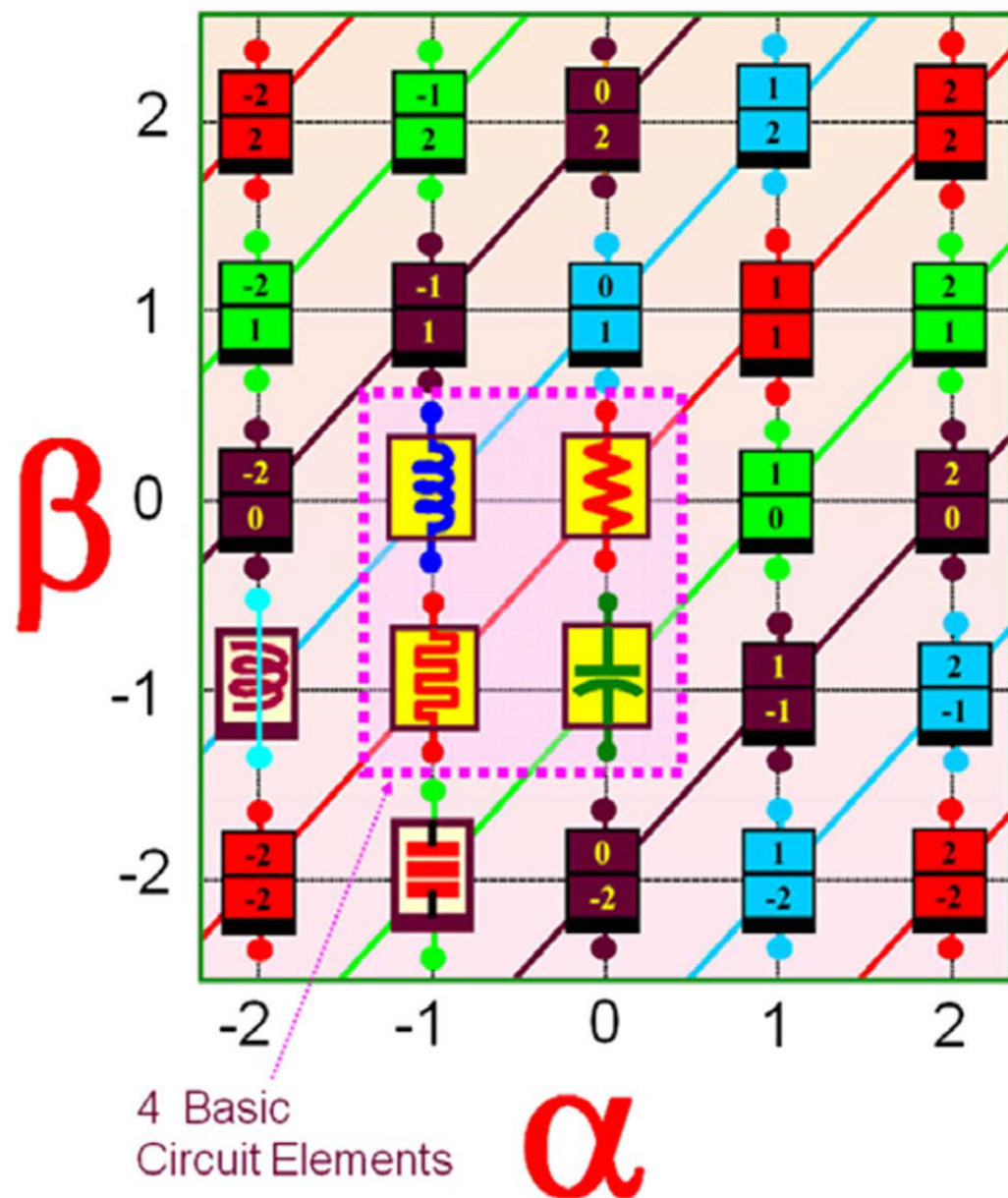
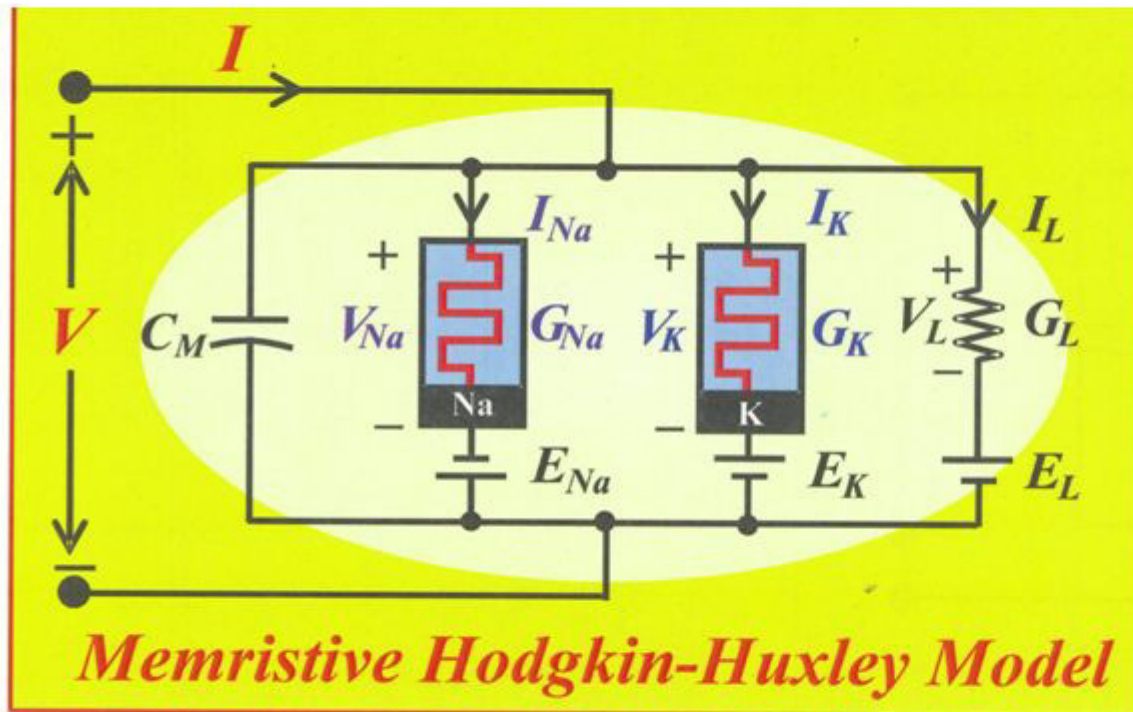


Tavola periodica degli elementi circuitali

Leon Chua's Version of the Hodgkin-Huxley Model



Biased at the
'Edge of Chaos'!

Brains are finely tuned to
operate right at the line
that separates chaos from
epilepsy.

Is this the key to creativity
and intuition?

L. Chua et al., "Hodgkin-Huxley Axon is made of Memristors,"
International Journal of Bifurcation and Chaos 22 (2012) art. # 1230011.

Letture consigliate

F. Corinto, M. Forti, L. O. Chua, “Nonlinear Circuits and Systems with Memristors”, Springer, 2021

The Mysterious Memristor, IEEE Spectrum, 2008

Brains are made of memristors, IEEE Circuits and Systems Magazine, 2014

New Memristor Circuit Mimics Synapses in the Brain, IEEE Spectrum, 2016

We Could Build an Artificial Brain Right Now, IEEE Spectrum, 2017

Analisi di reti **resistive** (**adinamiche, senza memoria**)

- Composte da elementi descritti da **relazioni algebriche lineari fra tensione e corrente** (no derivata o integrale)
- il sistema risolvante è un ***sistema algebrico lineare***; elementi di algebra

Analisi di classi elementari di reti resistive

- serie e parallelo di bipoli
- partitore di tensione e di corrente
- teorema di Millmann

gli strumenti di base

Teoremi su reti resistive lineari:

- principio di sovrapposizione degli effetti
- Teorema di Thevenin, Teorema di Norton
- Teorema di Tellegen e conservazione della potenza e della energia

particolare attenzione al caso in cui sono presenti elementi attivi (generatori controllati)

saper analizzare in modo efficiente rilevanti configurazioni circuitali

Metodi generali per l'analisi di reti resistive: elementi di teoria dei grafi; metodo nodi, tagli, maglie

metodi sistematici; qualunque rete può essere analizzata per mezzo dei nodi, tagli, maglie; particolare attenzione a circuiti con generatori controllati; metodo modificato di analisi su base nodi (SPICE)

P2

Analisi di Reti con Memoria (Dinamiche) in Regime Permanente Sinusoidale

Metodo dei Fasori

Potenza in Regime Permanente Sinusoidale

Analisi di Circuiti del Primo Ordine nel Dominio del Tempo

Reti con memoria; contengono resistori, induttori e condensatori;
sono descritte da sistemi di equazioni differenziali o integro differenziali

Analisi di reti con memoria (dinamiche) **in regime permanente sinusoidale (in corrente alternata)**

generatori di tensione o corrente sinusoidali; esaurita la fase transitoria, a regime, tutte le correnti e tensioni sono sinusoidali

Il metodo dei fasori: In un dominio trasformato (quello dei numeri complessi, DELLA VARIABILE $j\omega$), le reti sono descritte da sistemi algebrici; lo studio è perciò ricondotto a quello delle reti senza memoria (possiamo usare i metodi delle reti resistive)

Risposta in frequenza (dominio della variabile ω) di circuiti RL, RC e circuiti risonanti RLC

Bilanci energetici

Potenza in regime sinusoidale

Bilanci di potenza attiva, reattiva, etc.; sono di grande importanza nelle applicazioni tecniche

Analisi di Circuiti del Primo Ordine nel Dominio del Tempo

Soddisfano a una equazione differenziale del primo ordine

Analizziamo e risolviamo l'equazione differenziale del primo ordine che descrive la dinamica lavorando nel **dominio del tempo**

risposta a eccitazioni costanti e eccitazioni sinusoidali

scomposizione della risposta in parti significative (libera, forzata, transitoria e di regime sinusoidale o stazionario)

P3

Analisi di Reti con Memoria con il Metodo Simbolico di Laplace

Analisi e Sintesi di Reti Due Porte (doppi bipoli)

Analisi di reti con memoria R, L, C di ordine arbitrario, con generatori arbitrari e in regime comunque variabile

Generatori, tensioni, correnti non necessariamente sinusoidali; si analizza anche parte transitoria (non solo quella asintotica di regime)

Metodo simbolico di Laplace: Nel dominio trasformato di Laplace (dominio della variabile s) il circuito diviene senza memoria e può essere analizzato con i metodi delle reti resistive (senza memoria)

Analisi di classi particolari di circuiti in parallelo nel dominio del tempo (DT) e nel dominio della trasformata di Laplace (DL);

punti di vista complementari e ugualmente importanti;

DT: comprensione fisica fenomeni elettrici

DL: dimostrazione rigorosa matematica;

applicazione a circuiti del I e II ordine e a circuiti con eccitazioni di tipo impulsivo

Metodo di Laplace, trattazione generale;
applicabile a circuiti generali lineari e tempo invarianti (LTI), di qualsiasi ordine;
le eccitazioni devono essere trasformabili secondo Laplace (praticamente, tutte
quelle di interesse nei circuiti elettrici);

con Laplace si può ottenere risposta completa, e anche scomposizione in parti
significative (parte libera, forzata, transitoria, permanente)

Metodo di Laplace molto più generale del metodo dei fasori (valido per
eccitazioni sinusoidali e permette di ottenere solo risposta in regime
sinusoidale)

Concetto della **funzione di rete** di un circuito; permette di studiare stabilità e
risposta in frequenza

Reti Due Porte (Doppi Bipoli)

Rappresentazione matriciale;

analisi e sintesi di circuiti che contengono reti due porte;

filtri passivi e attivi, cenni sulla sintesi