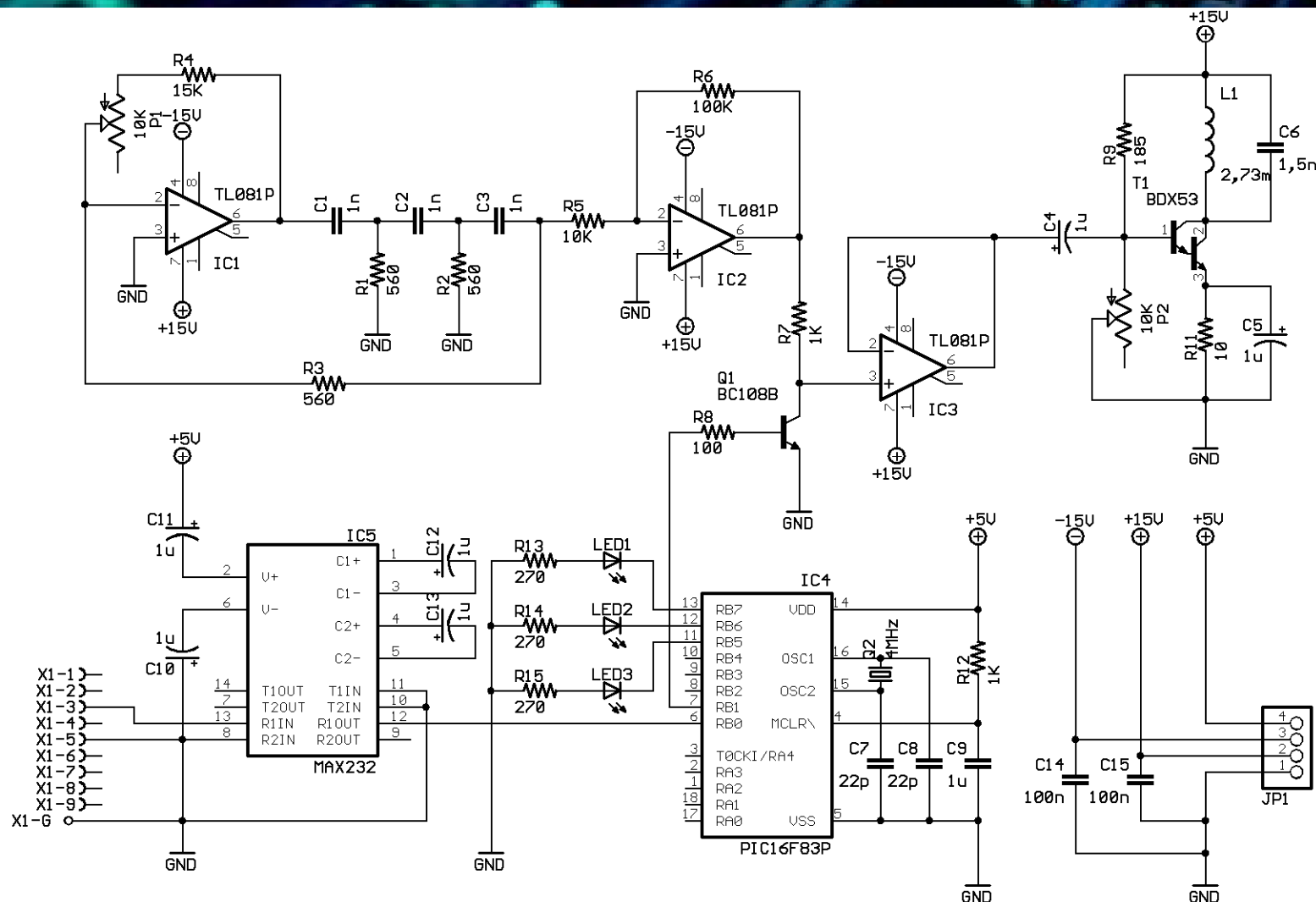




PRINCIPI DI

INGEGNERIA ELETTRICA



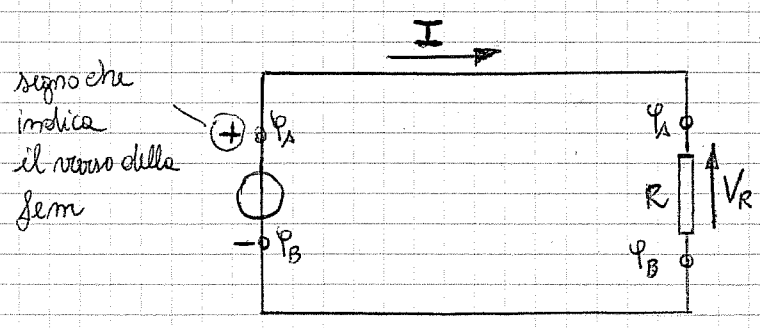
PhD Student: Dott. Ing. De Vincenzo Ilario

Classe delle lauree in: Ingegneria Meccanica (classe L9)		Corso di laurea in: Ingegneria Meccanica		Anno accademico: 2009 - 2010	
Tipo di attività formativa: Caratterizzante-affini	Ambito disciplinare: Ingegneria elettrica	Settore scientifico disciplinare: Elettrotecnica (ING-IND/31)		CFU: 6	
Titolo dell'insegnamento: Principi di ingegneria elettrica	Codice dell'insegnamento:	Tipo di insegnamento: obbligatorio	Anno: II	Semestre: II	
DOCENTE: Prof. Francesco Lattarulo					
ARTICOLAZIONE IN TIPOLOGIE DIDATTICHE: Il corso comprende 40 ore di lezioni teoriche, 16 ore di esercitazioni.					
CONOSCENZE PRELIMINARI: Analisi matematica II e Fisica Generale II.					
OBIETTIVI FORMATIVI: Fornire agli allievi le conoscenze di base per comprendere il funzionamento di circuiti elettrici, delle macchine elettriche più comuni e degli impianti di distribuzione.					
PROGRAMMA: <i>Circuiti elettrici in regime costante</i> Definizione di bipolo e sua rappresentazione. Legge di Ohm; legge di Joule; definizione di circuito elettrico; Leggi di Kirchhoff delle correnti e delle tensioni. Collegamenti serie e parallelo. Il partitore di tensione e di corrente. La trasformazione triangolo stella. Il teorema di Thévenin. Risoluzione di un circuito con il metodo delle correnti di maglia. Potenza elettrica. (12 h) Esercitazioni (8 h) <i>Circuiti elettrici in regime sinusoidale</i> I bipoli dinamici ideali: il condensatore e l'induttore lineari. Le relazioni costitutive degli elementi bipolari ideali e le loro relazioni di porta. Relazioni fasoriali fra le variabili di porta. Gli operatori complessi impedenza ed ammettenza di una rete bipolare passiva. Potenza istantanea, attiva, reattiva e apparente. Fattore di potenza. L'energia assorbita da una rete bipolare in regime sinusoidale. La risonanza. Estensione del metodo delle correnti di maglia al regime sinusoidale. Circuiti trifasi simmetrici ed equilibrati. Cenni alle misure di tensioni, correnti e potenza/energia nei circuiti monofase e trifase (12 h) Esercitazioni (8 h) <i>Macchine elettriche</i> Il trasformatore ideale. Circuiti semplificati del trasformatore reale. Comportamento a vuoto e sotto carico. Parallelo di trasformatori. Rendimento del trasformatore. Motore asincrono. Principio di funzionamento. Scorrimento. Problemi di avviamento. Regolazione di velocità. (8 h) <i>Impianti elettrici</i> Distribuzione dell'energia elettrica. Cavo elettrico e portata. Il rifasamento. Relais di protezione (termici, magnetici e differenziali). Interruttori automatici. Sezionatori. Impianti di terra e sicurezza elettrica. (8 h)					
METODI DI INSEGNAMENTO: Lezioni ed esercitazioni in aula.					
CONOSCENZE E ABILITÀ ATTESE: Al termine del modulo gli allievi conosceranno i fondamenti dell'ingegneria elettrica applicata alle attività civili ed industriali.					
SUPPORTI ALLA DIDATTICA: Piattaforma elettronica e-learning per esercitazioni					
CONTROLLO DELL'APPRENDIMENTO E MODALITÀ D'ESAME: Esame orale .					
TESTI DI RIFERIMENTO PRINCIPALI: P. Fabricatore, Elettrotecnica e sue applicazioni, Liguori, Napoli, 1998 G. Rizzoni, "Elettrotecnica - Principi e applicazioni", McGraw Hill, 2004.					
ULTERIORI TESTI SUGGERITI: M. Guarnieri, A. Stella – Principi ed Applicazioni di Elettrotecnica, Ed. Progetto Padova, 2001					

DOCENTE: Professor. FRANCESCO LANZARULO

sito internet: eterning (password: PIEA09)

libri di testo: G. RIZZONI, "ELETTROTECNICA. PRINCIPI E APPLICAZIONI", Mc GRAW HILL
GUARNIERI, STELLA, "PRINCIPI E APPLICAZIONI DI ELETTROTECNICA"
BOBBIO, "ESERCIZI DI ELETTROTECNICA"



Def. BIPOLO ATTIVO: sistema che produce f.e.m.

BIPOLO PASSIVO: sistema che riceve la corrente del bipolo attivo

Un ipotesi fondamentale sta nell'assumere che i veicoli dell'energia elettrica (fili di collegamento), abbiano "conduttività infinita" (SUPERCONDUTTORI); non oppongono resistenza al passaggio di corrente.

Tutta la resistenza dunque nel circuito sovrastante è concentrata in R

Esiste un'analogia tra l'energia potenziale gravitazionale e quella elettrica: $ENERGIA POTENZIALE = \frac{ENERGIA\ GRAVITAZIONALE}{MASSA}$

Il potenziale elettrico viene indicato con le lettere V, in riferimento a VOLT, unità di misura della Tensione. In un circuito avviene un processo di decadimento dell'energia, che elettrica e calore gradualmente, in corrispondenza della resistenza (sistema passivo), sulla quale si registra una caduta di tensione.

$$V = f.e.m. = \Delta \phi_P \text{ ai capi del generatore}$$

$$V_R = \Delta \phi_P \text{ ai capi della resistenza (CADUTA DI TENSIONE)}$$

$$\boxed{f.e.m. = \frac{W}{q}} \quad \text{con } W = \text{energia spesa ad ogni carica}$$

$$q = \text{carica elettrica}$$

Del punto di vista numerico $V = V_R$; concettualmente si tratta però di cose diverse.

DENSITA' ELETTRICA

$$\underline{J} = n_+ e_+ v_+ + n_- e_- v_- \quad (\text{movimento delle cariche positive e negative})$$

densità di corrente

$$e_- = e_+ = e$$

Se f.e.m. instaura un campo elettrico che fa muovere le cariche con una certa velocità: $\underline{v} = \mu \underline{E}$

dove μ = coefficiente caratteristico del materiale che rappresenta la mobilità dell'elettrone

$$\boxed{\underline{J} = (n_+ e_+ \mu_+ + n_- e_- \mu_-) E} \quad (1)$$

$$n_+ = n_- = n$$

Approssimando la densità di corrente diventa invece nulla; tuttavia n e μ_- sono indipendentemente positivi: ne risulta che la densità di corrente è una somma di due numeri positivi, quindi non nulla.

Per i materiali metallici si ha: $n_+ = 0 \Rightarrow \underline{J} = (n_- e_- \mu_-) E$

Quindi, la corrente può essere vista come la somma di una corrente elettrostatica di cariche intrinsecamente positive ed una di cariche intrinsecamente negative.

Dall'espressione (4) della densità di corrente, emerge che il verso della corrente elettrica ha verso opposto a quello reale degli elettroni.

CONDUCIBILITÀ ELETTRICA

$$\sigma = n_+ e_+ \mu_+ + n_- e_- \mu_-$$

$$\underline{J} = \sigma E \quad 1^\circ \text{ LEGGE DI OHM} \quad \left[\frac{\sigma}{L} = \Omega \cdot m^{-1} \right]$$

Abbronzando le particelle avviene il proprio moto in corrispondenza delle resistenze, macroscopicamente si percepisce il libero cammino medio come una velocità media costante.

La corrente \underline{J} è inversamente proporzionale alla sua lunghezza da una densità \underline{J}

Quindi si può definire la resistenza nel seguente modo:

$$R = \frac{L}{\sigma} = \frac{L}{J} \quad 2^\circ \text{ LEGGE DI OHM} \quad [R]$$

$$I = V_R \cdot G = \frac{V_R}{R} \quad \text{dove} \quad G = \text{CONDUTTANZA} = \frac{1}{R}$$

Tutto ciò si verifica sperimentalmente con un metodo tecnico.

Infatti, secondo le leggi concernenti elettricità di intensità I all'interno del circuito, si hanno degli urti (le cariche si fermano in corrispondenza delle resistenze), ovvero si ha una trasformazione di energia cinetica in energia vibrazionale. Questo si traduce in un'emissione di calore.

Definita POTENZA: $P = V I$ [W], si ha

$$\text{ENERGIA ELETTRICA: } W = \int_{\Delta t} P dt = \int_{\Delta t} V \cdot I(t) dt$$

Poiché il generatore mantiene costante V si ottiene: $W = V \int_{\Delta t} I(t) dt$ (Energia elettrica che si trasforma in energia termica; la sede di trasformazione è la resistenza)

LEGGE DI JOULE

$$\text{Se } R \text{ è costante} \quad W = V I \Delta T = P \Delta T$$

Questa legge non è lineare; infatti, ρ dipende dalla temperatura secondo la seguente legge:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T) \quad \text{dove} \quad \Delta T = T - T_0$$

$$\downarrow T_0 \quad \alpha = \text{coefficiente di temperatura} \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (metalli)}$$

Col passaggio di corrente e quindi con il riscaldamento infatti la resistenza varia, perciò la legge

$$V_R = R(I) I \text{ non è lineare}$$

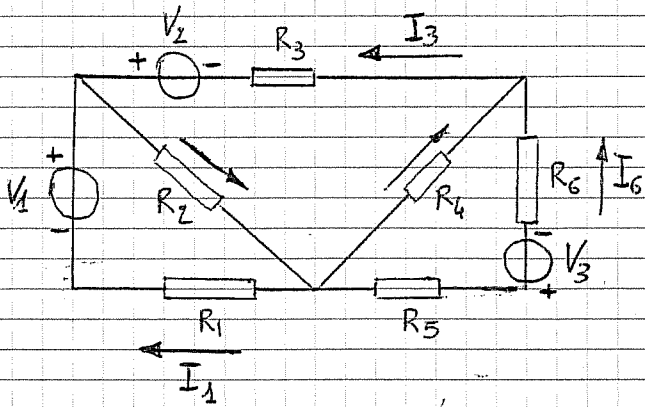
Tutte le strutture devono essere progettate in maniera tale da preservare i componenti che le costituiscono; non devono cioè essere superate certe temperature, oltre le quali il comportamento non è limitabile. Se infatti ΔT è limitato $\rho = \rho_0$; si tratta di una esigenza tecnologica, non computazionale; solo sotto queste ipotesi, si può parlare di "linearità delle leggi di Ohm".

$$V_R = R I$$

Il problema reale presentiamo, solitamente, un groviglio di complessità topologica elevato.

Emi sono rappresentate mediante schemi che costituiscono l'argomento di studio della

GEOMETRIA TOPOLOGICA (una branca della matematica)



NODI: punti di confluenza o defluenza di almeno tre rami, ognuno dei quali attraversato da una propria corrente.

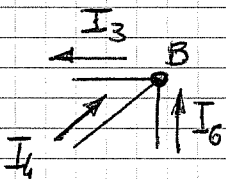
Ogni nodo è equipotenziale

MAGLIA: insieme di rami che formano un circuito chiuso

1° PRINCIPIO DI KIRCHHOFF (o delle correnti)

$$\sum_{k=1}^p I_k = 0 \quad (\text{per ogni nodo})$$

Spotizzati dai rami arbitrari delle correnti, si ha, ad esempio per il nodo B: $-I_4 + I_3 - I_6 = 0$



2° PRINCIPIO DI KIRCHHOFF (o delle tensioni)

$$\sum_j V_j = \sum_k R_k I_k \quad (\text{per ogni maglia})$$

Per convenzione si sceglie come positivo il verso orario delle f.e.m.; tale regola vale anche per il prodotto $R_k I_k$; quindi considerando una generica maglia, ad esempio quella dell'intero circuito, si ha:

$$V_1 - V_2 + V_3 = R_1 I_1 - R_3 I_3 - R_6 I_6 - R_5 I_1$$

Dato le conoscenze di teoria di Kirchhoff è possibile risolvere il circuito o vero calcolare le correnti in uno circolanti.

Posti: l = numero di rami (o rami) che compongono nel circuito

n = numero di nodi che compongono nel circuito

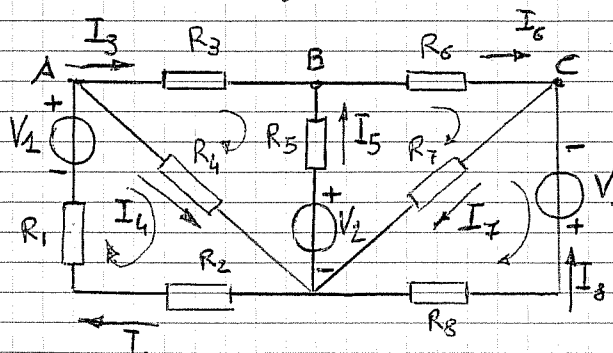
bisogna risolvere un sistema di l equazioni in n incognite

Il 1° PK riguarda i nodi e mediante la sua applicazione è possibile impostare $(n-1)$ equazioni, in quanto un nodo resta dovuto necessariamente dalla combinazione lineare degli altri $(n-1)$ indipendenti.

Le $(n-1)$ equazioni indipendenti si possono scegliere con un particolare criterio che utilizza la teoria dei grafi; in seguito si chiuderà tale argomento.

Restano da impostare $(l - (n-1))$ equazioni mediante il 2° PK; si finano arbitrariamente i

versi delle correnti in ogni ramo e si derivano le equazioni del secondo principio.



- 1°) (A) $I_1 = I_3 + I_4$
- 2°) (B) $I_6 = I_3 + I_5$
- 3°) (C) $I_7 = I_6 + I_8$

- 4°) $V_1 = I_4 R_4 + I_1 (R_1 + R_2)$
- 5°) $V_2 = I_5 R_5 - I_3 R_3 + I_4 R_4$
- 6°) ...

2° PK (N.B. il segno $\pm I_i$ è relativo al verso ipotizzato della corrente)

Quasi certamente saremmo in grado di impostare un numero di equazioni inferiore a quello necessario.

Si possono per eliminare tale problema a metodi riduttivi che permettono di ridurre il numero di equazioni necessario per la risoluzione; tali metodi sono:

1) METODO DELLE CORRENTI DI MAGLIA

2) METODO DEI POTENZIALI NODALI; Tale metodo implica la conoscenza di un generatore di corrente

(giusto dell'immaginazione) e consente di ridurre il sistema ad un numero di equazioni pari a $(n-1)$

METODO DELLE CORRENTI DI MAGLIA

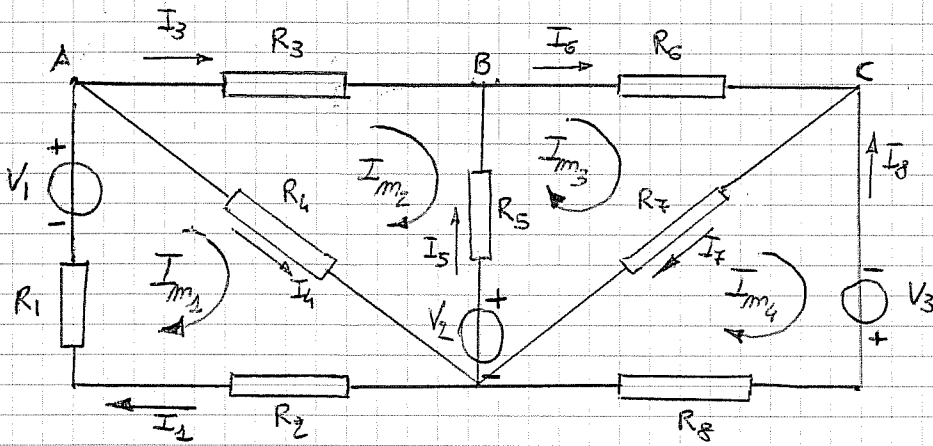
Consente di risolvere il grado del sistema ad un numero di equazioni pari ad $l-(n-1)$

Le CORRENTI DI MAGLIA sono delle folle correnti che si mantengono uguali a resistenza

comunque le maglie continue nel circuito che saranno sicuramente indipendenti e applico il 2°PK

e tali maglie considerando non le correnti di lato ma le correnti di maglia, che abbiamo supposto per convenzione essere tutte positive (verso orario).

Applicando tale metodo al circuito precedente ritroveremo il seguente sistema di $l-(n-1)$ equazioni:



$$\begin{cases} V_1 = (R_1 + R_2) I_{m1} + R_4 (I_{m1} - I_{m2}) \\ -V_2 = R_3 I_{m2} + R_5 (I_{m2} - I_{m3}) + R_4 (I_{m2} - I_{m1}) \\ V_2 = R_5 (I_{m3} - I_{m2}) + R_6 I_{m3} + R_7 (I_{m3} - I_{m4}) \\ V_3 = R_8 I_{m4} + R_7 (I_{m4} - I_{m3}) \end{cases}$$

Note dunque le $l-(n-1)$ CORRENTI DI MAGLIA, in tal caso $I_{m1}, I_{m2}, I_{m3}, I_{m4}$ sono automaticamente note le correnti di ramo:

$$\begin{cases} I_3 = I_{m2} \\ I_4 = I_{m1} \\ I_4 = I_{m1} - I_{m2} \\ I_5 = I_{m3} - I_{m2} \\ I_6 = I_{m3} \\ I_7 = I_{m3} - I_{m4} \\ I_8 = -I_{m4} \end{cases}$$