FORMULAIRE D'ELECTRONIQUE

CIRCUITS CAPACITIFS EN CONTINU

Capacité d'un condensateur

Un condensateur est caractérisé par sa capacité dont l'unité est le Farad (F) et par la tension continue qu'il peut supporter sans dommage.

La capacité C d'un condensateur dépend de trois facteurs :

– la constante diélectrique K du matériau utilisé comme diélectrique,

– la surface S des armatures en regard,

– la distance d entre les deux armatures.

La formule pratique est :

$$C = \frac{K\,S}{11{,}3\,d}$$

C = capacité du condensateur (en picofarads) (1 pF = 10^{-12} farad)

K = constante diélectrique (voir tableau ci-dessous)

S = surface des armatures (en cm^2)

d = distance des armatures (en cm)

DIELECTRIQUE	K
Air, vide	1
Papier	2 à 5
Plastique	2 à 5
Verre	5 à 8
Mica	7
Oxyde d'aluminium	8
Oxyde de tantale	25
Céramique	15 à 30 000

Exemple : Quelle est la capacité de 2 plaques métalliques de 4 cm^2 distantes de 2 millimètres, le diélectrique étant l'air ?

$$C = \frac{1 \times 4}{11{,}3 \times 0{,}2} = 1{,}77 \text{ pF}$$

Condensateur chargé

La quantité d'électricité emmagasinée dans un condensateur dépend de sa capacité et de la tension continue appliquée à ses bornes : Q = CV.

Q = charge du condensateur (en coulombs)

C = capacité du condensateur (en farads)

V = tension aux bornes du condensateur (en volts)

Remarque : La charge Q peut également être exprimée par la relation : Q = I t, produit du courant de charge par le temps de charge. La charge Q peut donc être exprimée en ampère-seconde.

Exemple : La charge d'un condensateur de 10 μF, dont la tension aux bornes est de 100 V, a pour valeur : $Q = 10 \times 10^{-6} \times 10^2 = 1$ millicoulomb.

Energie emmagasinée

L'énergie emmagasinée dans un condensateur est donnée par la relation :

$$W = \frac{1}{2}CV^2$$

W = énergie (en joules)
C = capacité du condensateur (en farads)
V = tension aux bornes (en volts).

Exemple : Une énergie de 120 joules est nécessaire pour un flash électronique dont la tension d'alimentation du tube est de 300 V. Quelle doit être la valeur du condensateur ?

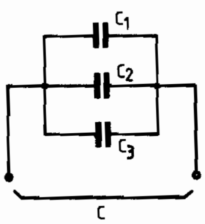
$$C = \frac{2\,W}{V^2} = \frac{2 \times 120}{(300)^2}$$ soit environ 2 700 μF

Condensateurs en parallèle

La capacité totale de l'ensemble est égale à la somme des capacités des condensateurs qui le compose.

Dans le cas de trois condensateurs (fig. 1) :

$$C = C_1 + C_2 + C_3$$



Remarque : La capacité totale de l'ensemble est toujours plus grande que la plus grande des valeurs associées.

La tension est la même aux bornes de tous les condensateurs.

La charge totale est égale à la somme des charges de chacun des condensateurs.

$$Q = C_1V + C_2V + C_3V$$
$$= (C_1 + C_2 + C_3)\,V$$

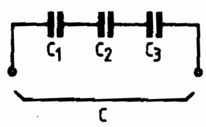
Exemple : Trois condensateurs sont en parallèle : 20 nF, 0,1 μF et 500 pF. Avant d'effectuer le calcul de la capacité résultante, on convertit les valeurs pour n'avoir qu'une seule unité, ici le picofarad :

20 000 pF + 100 000 pF + 500 pF = 120 500 pF

Condensateurs en série

La capacité totale, dans le cas de trois condensateurs, est égale à (fig. 2) :

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}}$$



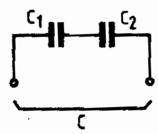
Remarque : La capacité totale de l'ensemble est toujours plus petite que la plus petite des valeurs composant cet ensemble.

Exemple : Un condensateur C_1 de 100 nF est en série avec un condensateur C_2 de 10 nF. La capacité totale est inférieure à 10 nF (C = 9 nF).

Cas de deux condensateurs en série

La formule se simplifie. Le produit sur la somme des capacités donne la valeur de la capacité équivalente (fig. 3).

$$C = \frac{C_1\,C_2}{C_1 + C_2}$$



Dans le cas de condensateurs branchés en série, la charge totale est égale à la charge de chacun des condensateurs.

$$Q = Q_1 = Q_2 = Q_3 \quad \text{ou}$$
$$= C_1V_1 = C_2V_2 = C_3V_3$$

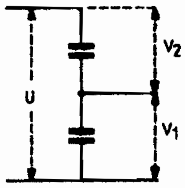
Condensateurs en série-parallèle

On simplifie par étapes successives en utilisant les formules de branchement série et parallèle.

Diviseur capacitif de tension

Les tensions aux bornes des condensateurs du circuit diviseur capacitif sont données par les formules (fig. 4) :

$$V_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2}\,U \quad \text{et} \quad V_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2}\,U$$



Important : La tension aux bornes des condensateurs est inversement proportionnelle à la capacité.

Exemple : Nous avons deux condensateurs en série C_1 = 10 nF et C_2 = 1 nF. La tension appliquée à l'ensemble est de 22 V. Nous voulons connaître la tension aux bornes de chacun de ces condensateurs, ainsi que les charges Q.

La tension aux bornes de C_1 est :

$$\frac{1}{10 + 1} \times 22 = 2\ \text{V}$$

celle aux bornes de C_2 est :

$$\frac{10}{10 + 1} \times 22 = 20\ \text{V}$$

La charge dans C_1 est : $10 \times 10^{-9} \times 2 = 20 \times 10^{-9}$ J.

La charge dans C_2 est : $1 \times 10^{-9} \times 20 = 20 \times 10^{-9}$ J.

La capacité de l'ensemble est : $\frac{10 \times 1}{10 + 1} \simeq 0{,}91$ nF

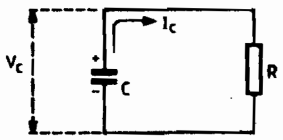
et la charge dans l'ensemble est : $0{,}91 \times 10^{-9} \times 22$, soit 20×10^{-9} J, ce qui démontre que $Q = Q_1 = Q_2$ dans le cas de condensateurs en série.

Décharge d'un condensateur

La tension de décharge d'un condensateur et le courant de décharge sont donnés par les formules (fig. 6) :

$$V_C = U - (e^{t/\tau})$$

$$I_C = \frac{U}{R} e^{-t/\tau}$$



Les variables sont les mêmes que pour la charge sauf :

I_C = courant de décharge de C (en ampères)
U = tension aux bornes de C avant la décharge (en volts)

Remarque : Au bout d'un temps égal à $5\,\tau$, le condensateur est pratiquement complètement déchargé.

Pour simplifier les calculs de charge et de décharge, on utilisera les courbes ci-contre (fig. 7).

Exemple : Nous avons un condensateur de 10 µF chargé initialement à 20 V. Il se décharge dans une résistance de 2 MΩ. Au bout de combien de temps la tension V_C sera-t-elle égale à 10 V ?

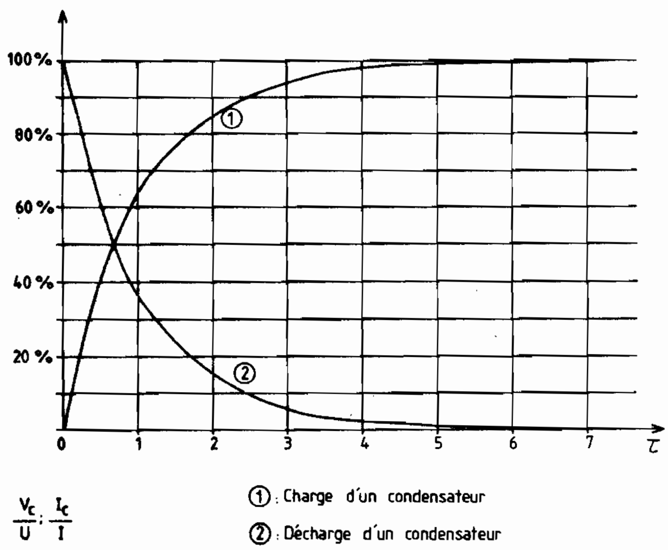
La constante de temps est de : $2 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-6}$ soit 20 s. En utilisant la courbe 2, nous voyons que pour le rapport :

$$\frac{V_C}{U} = \frac{10}{20}$$

soit 50 %, le temps t est égal à $0{,}65\,\tau$. Avec τ = 20 s, $t \simeq 13$ s. En utilisant les logarithmes et la formule :

$$V_C = U\,e^{-t/\tau}$$

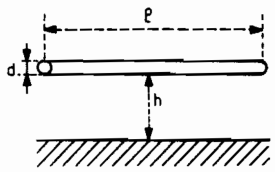
on a : $t = -\tau \ln \frac{V_C}{U}$ ce qui donne 13,86 s.



Capacité des lignes

La capacité entre un fil métallique et la masse est donnée par la formule (fig. 8) :

$$C = \frac{24,1 \times l}{\lg \frac{4\,h}{d}}$$



C = capacité entre le fil et la masse (en picofarads)
l = longueur du fil métallique (en mètres)
d = diamètre du fil
h = distance entre le fil et la masse

Remarques :

a) d et l doivent utiliser les mêmes unités (centimètre ou millimètre).
b) lg signifie qu'il faut prendre le **logarithme décimal** de 4 h/d (ne pas utiliser la touche ln d'une calculatrice).
c) Si on désire la capacité par mètre d'un câble, il suffit de négliger l dans la formule ci-dessus.

Exemple : Nous avons un câble de 10 mètres de long, de 2 mm de diamètre et distant de 10 cm d'une masse métallique. Pour connaître la capacité du câble par rapport à la masse, nous devons d'abord calculer 4h/d en utilisant les mêmes unités, soit h = 100 mm et d = 2 mm, ce qui donne :

$$\frac{4h}{d} = 200$$

dont le logarithme décimal est 2,3. On calcule ensuite :

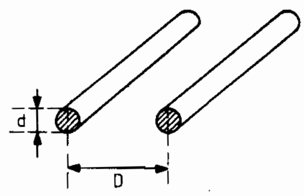
$$C = \frac{24,1 \times 10}{2,3} = 104,7 \text{ picofarads}$$

La capacité par mètre est donnée par :

$$C = \frac{24,1}{2,3} \text{ soit } 10,47 \text{ pF/m}$$

La capacité d'un câble bifilaire est donnée par (fig. 9) :

$$C = \frac{12,1 \times l}{\lg \frac{2D}{d}}$$

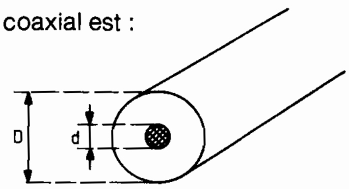


C = capacité entre les 2 fils (en picofarads)
D = distance entre les centres des 2 conducteurs
d = diamètre du fil
l = longueur du câble (en mètres)
Remarques : Elles sont les mêmes que pour la capacité entre un fil métallique et la masse.
Exemple : Quelle est la capacité par mètre d'un câble bifilaire dont les caractéristiques sont : d = 1 mm et D = 1 cm ?

$$C = \frac{12,1}{\lg \frac{20}{1}} = 9,3 \text{ pF/m}$$

La capacité d'un câble coaxial est :

$$C = \frac{24,1 \times l}{\lg \frac{D}{d}}$$



C = capacité du câble (en picofarads)
D = diamètre intérieur de la gaine métallique
d = diamètre du câble interne
l = longueur du câble (en mètres)
Remarques : Elles sont les mêmes que pour la capacité entre un fil métallique et la masse.
Exemple : Si d = 1 mm et D = 1 cm, la capacité par mètre du câble est :

$$\frac{24,1}{\lg 10} = 24,1 \text{ pF/m}$$

Constante de temps des circuits capacitifs

La constante de temps d'un circuit RC est définie par la relation : τ = RC.

avec :
τ = constante de temps du circuit (en secondes)
R = résistance du circuit (en ohms)
C = capacité du condensateur (en farads).

Dans le cas d'une charge de condensateur, τ indique le temps nécessaire pour que la tension aux bornes atteigne 63 % de la valeur maximale de la tension de charge (tension alimentant le circuit).

Dans le cas d'une décharge de condensateur τ indique le temps nécessaire pour que la tension aux bornes diminue jusqu'à 37 % de la valeur de tension de charge initiale.

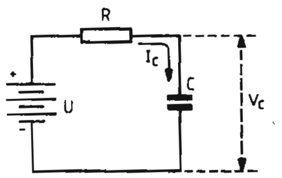
Exemple : Un condensateur de 10 μF, préalablement déchargé, est connecté à une tension de 100 V à travers une résistance de 100 kΩ. La constante de temps est de : $100 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-6} = 1$ s. Au bout de ce temps, la tension aux bornes de C sera de 63 V.

Charge d'un condensateur

La tension de charge aux bornes d'un condensateur et le courant de charge de ce condensateur sont donnés par les formules (fig. 5) :

$V_C = U\,(1 - e^{t/\tau})$

$I_C = \frac{U}{R} e^{-t/\tau}$



Avec :
V_C = tension aux bornes des condensateurs (en volts)
I_C = courant de charge du condensateur (en ampères)
t = temps pour lequel le calcul est fait (en secondes)
τ = constante de temps (en secondes)
U = tension appliquée au circuit RC (en volts)
e = base des logarithmes népériens (= 2,718)
(On utilisera la touche e^x d'une calculatrice.)

Remarque : Au bout d'un temps égal à $5\,\tau$, le condensateur est pratiquement déchargé.

Exemples :

1° Pour un circuit RC de constante de temps égale à 1 s, quelle est la tension aux bornes de C au bout de 2 s, si la tension U d'alimentation est de 10 V ?

$V_C = 10 \times (1 - e^{-2/1})$ soit $10\,(1 - 0,135) = 8,64$ V.

2° Avec le même circuit que ci-dessus, sachant que R = 10 kΩ, quel est le courant de charge dès la mise sous tension ?

$I_C = \frac{U}{R} e^{-0} = \frac{10}{10 \times 10^{-3}} \times 1$ soit 1 mA

ERRATA

Nous nous excusons auprès des lecteurs pour les erreurs introduites dans le formulaire d'électronique de janvier 1986 :

Division de tension. Dans l'exemple numérique, la tension V_1 est 3,16 V et non 3,6 V.

Résistances en parallèle. Dans l'exemple, il faut lire :

$P_1 = 5$ W, $P_2 = 2$ W et $P_3 = 1$ W.

$P = \frac{(10)^2}{12,5} = 8$ W.

Résistances série-parallèle. L'ensemble des deux résistances ajouté à R_2 donne : 956 + 2 200 = 3 156 Ω. Le courant total est égal à :

$\frac{12}{3\,156} = 3,8$ mA.

La chute de tension aux bornes de R_2 est 2 200 × 0,0038 = 8,36 V. La tension aux bornes de R_1R_3 est : 12 – 8,36 = 3,64 V.

Courant dans $R_1 = \frac{1\,200}{1\,200 + 4\,700} \times 3,8 = 0,77$ mA

Courant dans $R_2 = \frac{4\,700}{1\,200 + 4\,700} \times 3,8 = 3,02$ mA

J.-B. P.

UNE ASSOCIATION POUR L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Une bonne nouvelle pour ceux qui cherchent le plaisir intellectuel en informatique : les particuliers ainsi que les professionnels de l'informatique et les chercheurs – et enfin aussi les philosophes, les peintres, les compositeurs...

L'Intellog, Association pour l'Application de l'intelligence artificielle (loi 1901), qui vient de naître, invite tous ceux qui veulent apporter leur participation (petite ou grande) à ce domaine important qu'on appelle normalement « l'intelligence artificielle ». Les services de l'association sont ouverts aux organismes de la recherche, aux informaticiens professionnels et à chaque particulier intéressé ou réalisant personnellement ses propres projets :

Bulletin avec informations actuelles ; service d'échange.

Langages de programmation (Lisp, Forth, Prolog, Logo, ...) et autres outils pour le travail en informatique avancée : disquettes « domaine public », prix spécial adhérents.

Services spécifiques concernant les intérêts spéciaux, par exemple :
– Robotique, guichets parlants.
– Traitement d'image, dessin, peinture, graphismes.
– L'ordinateur qui parle, entend, sait lire l'écriture manuelle.
– Traduction de langues (anglais, allemand, espagnol, arabe, chinois, japonais, russe, etc.).
– Musique : compositions, synthétiseur, etc.
– L'ordinateur qui « pense » ; systèmes d'experts ; prévisions (courses boursières... la météo...) ; etc.
– et toute autre partie de l'informatique avancée qui présente un intérêt pour les adhérents.

Contacts et échanges avec des passionnés de l'intelligence artificielle des autres pays européens comme la Grande-Bretagne, la RFA, la Belgique, l'Espagne et autres.

Pour plus de renseignements demandez une « DOC A » par lettre à : INTELLOG Assoc. pour l'intell. artif., 85, rue du Fg-Saint-Denis, 75010 Paris.

Erratum

Une erreur s'est glissée dans le paragraphe « Décharge d'un condensateur » du Formulaire paru dans le numéro de mars 1986. Il faut lire :

$Vc = U\, e^{-t/\tau}$ et non $Vc = U - (e^{t/\tau})$.

J.-B. P.