

Session S7

Annexe 1 du guide étudiant

CONCEPTION D'ARBRE D'ALIMENTATION

Conception de circuits électroniques avancés

Département de génie électrique et de génie informatique

Faculté de génie

Université de Sherbrooke

Hiver 2024

**Copyright © 2024 Département de génie électrique et de génie informatique.
Université de Sherbrooke**

Note : En vue d'alléger le texte, le masculin est utilisé pour désigner les femmes et les hommes.

Document S7CAS_APP1_Annexe1- Conception Arbre Alimentation 2024.docx

Rédigé par Jonathan Bouchard, Janvier 2021.

Mis à jour par Jonathan Bouchard, Janvier 2022.

Copyright © 2024 Département de génie électrique et de génie informatique. Université de Sherbrooke

Table des matières

Table des matières.....	3
1. Annexe 1 – Conception d’arbre d’alimentation.....	4
1.1. Bilan de puissance	6
1.2. Consolidation des rails	7
1.3. Séquence d’alimentation	8
1.3.1. Application des séquences d’alimentation.....	10
1.4. Contraintes d’optimisation	13
1.5. Conception de l’architecture de l’arbre d’alimentation.....	13
1.5.1. Efficacité des régulateurs à découpage	14
1.5.2. Efficacité des régulateurs linéaires	14
1.5.3. Régulateurs en cascade	15
1.5.4. Note générale d’optimisation d’efficacité.....	15
1.5.5. Efficacité totale	15
1.6. Procédure de conception de l’arbre	16
1.7. Justification du choix d’architecture	17
1.8. Conclusion.....	17

1. ANNEXE 1 – CONCEPTION D’ARBRE D’ALIMENTATION

L’utilisation de FPGA ou de système sur puce (system-on-chip – SoC) implique souvent la nécessité d’avoir de nombreux rails d’alimentation à des tensions différentes. Pour vous guider dans la résolution de la problématique, cette annexe fournit une description du processus de conception de l’arbre d’alimentation d’un circuit à base d’un FPGA Artix 7 de la compagnie Xilinx. Cet arbre est intégré sur une carte électronique qui comprend un grand nombre de composants et qui se connecte à d’autres cartes électroniques. Cette carte est la pièce centrale d’un scanner de tomographie d’émission par positrons fabriqué par le Groupe de recherche en appareillage médical de Sherbrooke (GRAMS) pour l’imagerie de petits animaux comme la souris (Figure 1.1).

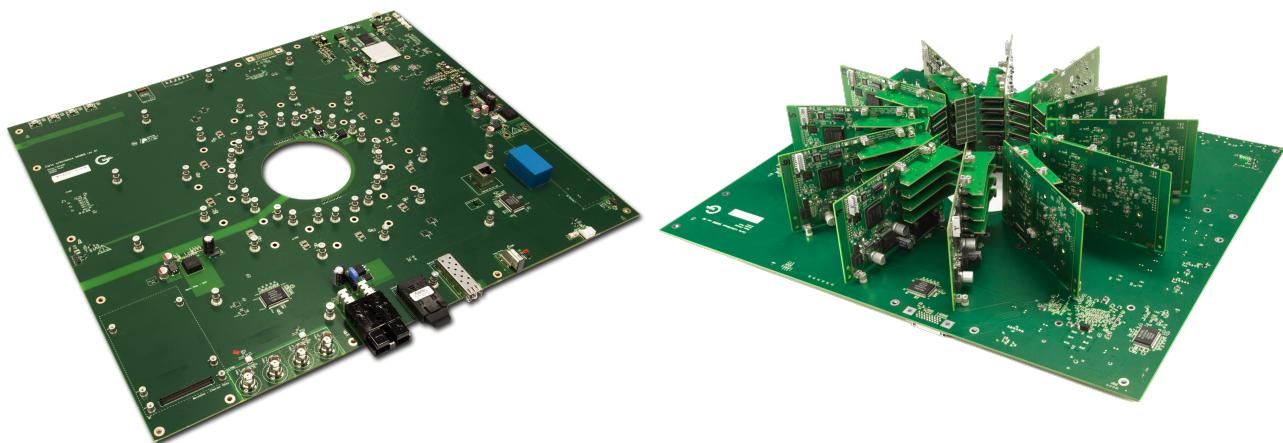


Figure 1.1 - Carte centrale du scanner LabPET II.

Non seulement les FPGA peuvent utiliser jusqu’à près de 10 alimentations différentes, certains modèles requièrent, en plus, une séquence d’alimentation précise pour le démarrage (*boot-up sequence*) et l’arrêt des alimentations (*brownout sequence* ou *shutdown sequence*). De nombreux circuits intégrés peuvent également nécessiter une séquence d’alimentation, notamment certains convertisseurs analogiques/numériques. Une conception minutieuse de l’arbre d’alimentation est d’autant plus importante lorsqu’une séquence est requise.

À partir des besoins exprimés dans les fiches techniques, on peut établir une structure générale de l’arbre d’alimentation comme celui de la Figure 1.2. Le processus complet de conception est décrit dans les prochaines sections permet de compléter les détails et d’orienter certains choix de conceptions.

Total Load : 108,7 W
Total Regulated Load : 22,0 W

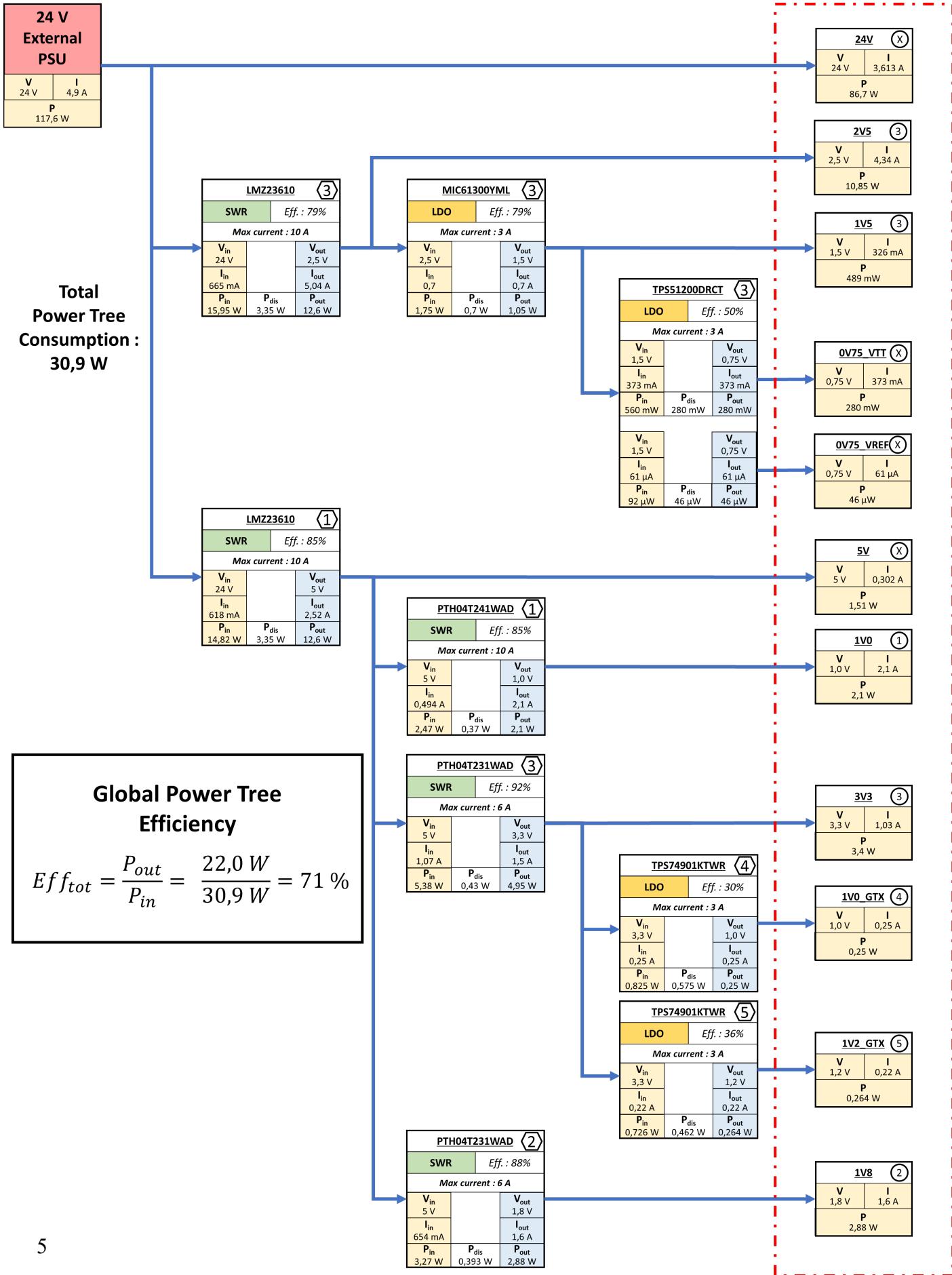


Figure 1.2 - Arbre d'alimentation.

1.1. Bilan de puissance

La première étape pour concevoir un arbre d'alimentation est de créer un bilan de puissance du circuit complet, sans prendre en compte l'aspect des régulateurs. Pour établir ce bilan, il est préférable d'inscrire la consommation de chacune des parties du circuit directement dans les schémas, tel qu'illustré à la Figure 1.3.

Le bilan de puissance doit inclure TOUS LES ÉLÉMENTS DU CIRCUIT, incluant les résistances et les circuits intégrés.

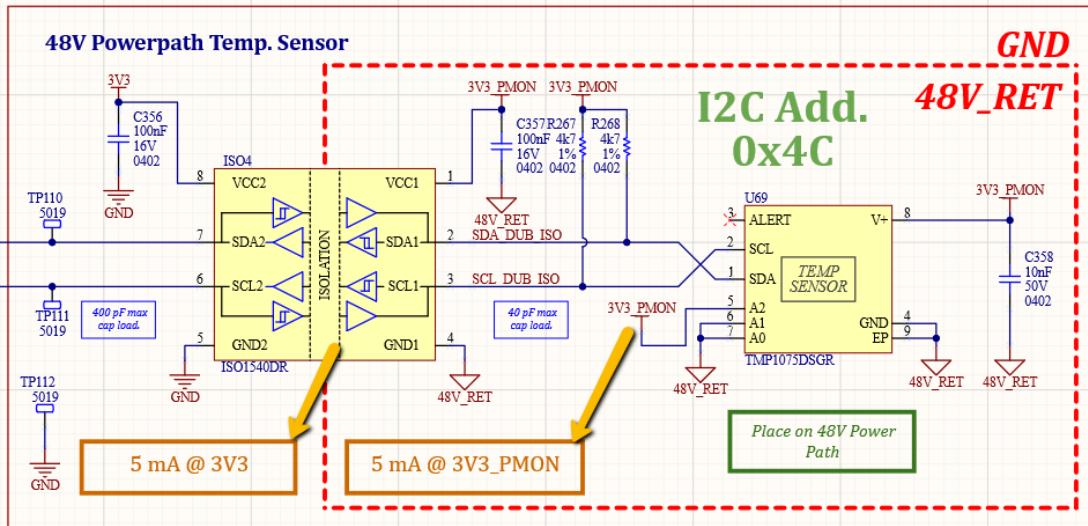


Figure 1.3 - Exemple de bilan de puissance dans les schémas.

Pour déterminer la puissance consommée par un circuit intégré, il faut consulter la fiche technique. Il est à noter qu'il faut toujours utiliser la PUISSANCE D'OPÉRATION MAXIMALE et non la puissance absolue maximale, qui mènerait à une surestimation excessive du courant consommé. Un exemple de fiche technique est présenté à la Figure 1.4.

Absolute Maximum Ratings ⁽¹⁾		Operating Ratings ⁽²⁾	
Supply Voltage (V_{CC})	-0.5V to + 4.0V	Supply Voltage (V_{CC})	3.0V to 3.6V
Input Voltage (V_{IN})	-0.5V to V_{CC}	Ambient Temperature	-40°C to +85°C
Termination Current ⁽³⁾		Package Type	(4)
Source or sink current on V_T	$\pm 100\text{mA}$	MLF® (θ_{JA}) Still Air	35°C/W
Input Current		500lfpm	28°C/W
Source or sink current on IN, /IN	$\pm 50\text{mA}$	MLF® (Ψ_{JB}) Junction-to-Board	20°C/W
Lead Temperature (soldering, 20 sec.)	+260°C		
Storage Temperature (T_S)	-65°C to +150°C		

Ne pas utiliser ces valeurs!

Utiliser la valeur d'opération maximale

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS ⁽⁵⁾						
Symbol	Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Units
V_{CC}	Power Supply		3.0	3.3	3.6	V
I_{CC}	Power Supply Current	No Load, Max. V_{CC} ⁽⁶⁾	68	90	90	mA
R_{DIFF_IN}	Differential Input Resistance (IN-to-/IN)		80	100	120	Ω
R_{IN}	Input Resistance (IN-to- V_T , /IN-to- V_T)	Cette valeur est évaluée sans terminaison, il faut les ajouter séparément!	40	50	60	Ω
V_{IH}	Input High Voltage (IN, /IN)		1.2		V_{CC}	V

Figure 1.4 - Exemple de fiche technique.

Utilisez le coin de vos pages de schémas pour faire une synthèse de votre bilan de puissance par page de schémas. Ceci simplifie la mise en commun de toutes les puissances pour l'évaluation du bilan.

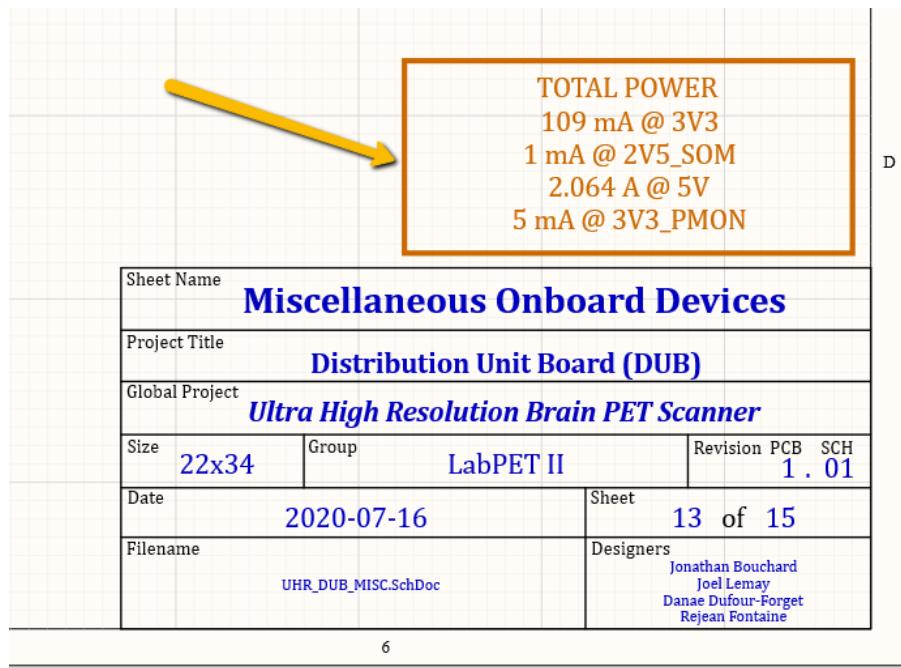


Figure 1.5 - Exemple de bilan de puissance par page

1.2. Consolidation des rails

En faisant votre bilan de puissance, vous devez toujours garder en tête de limiter le plus possible la quantité d'alimentations nécessaires tout en respectant les contraintes imposées par les requis du projet ou par les circuits intégrés que vous utilisez.

Vous pouvez généralement regrouper les alimentations ayant la même tension en deux catégories : les alimentations numériques et les alimentations analogiques. Les alimentations peuvent être considérées comme numériques (*digital*) lorsqu'elles servent uniquement à alimenter des circuits numériques généralement polluant comme des horloges, des microcontrôleurs, le cœur du FPGA ou encore ses banques d'entrée et sorties. Ce type de dispositif est habituellement moins susceptible au bruit électronique que les composants analogiques, ce qui permet de partager plus facilement une alimentation. Les alimentations analogiques, par exemple celle alimentant un ampli opérationnel ou la partie analogique d'un convertisseur, peuvent également être regroupées entre elles si vous jugez que le bruit de l'un n'affectera pas le fonctionnement de l'autre.

Une fois vos alimentations consolidées, il faut leur attribuer un nom clair et explicite que vous utiliserez partout dans votre schéma pour créer les interconnexions. Il est préférable d'utiliser des noms sans espace et sans ponctuation pour assurer la compatibilité avec tous les logiciels de CAD. La nomenclature 3V3, où le V remplace le séparateur décimal, est à privilégier. Par exemple :

- 3V3D : Alimentation 3,3 V pour le numérique.
- 1V0_CORE : Alimentation à 1,0 V pour le cœur numérique du FPGA
- 2V5A : Alimentation analogique à 2,5V

Dans tous les cas, il faut TOUJOURS vous assurer que la consolidation des alimentations ne vous causera pas de problème. Dans le cas de la carte en exemple dans cette annexe, Xilinx stipule explicitement que les alimentations des transceivers gigabit (GTX) ne peuvent en aucun cas être partagées avec quoi que ce soit d'autres. De plus, une séquence d'alimentation complexe exigée par un des circuits intégrés pourrait nuire à la consolidation et vous obliger à utiliser deux alimentations de la même valeur simplement pour qu'elles démarrent à un moment différent.

Une fois consolidé, le bilan de puissance de l'exemple de la carte centrale du LabPET II permet de mieux visualiser les différentes alimentations.

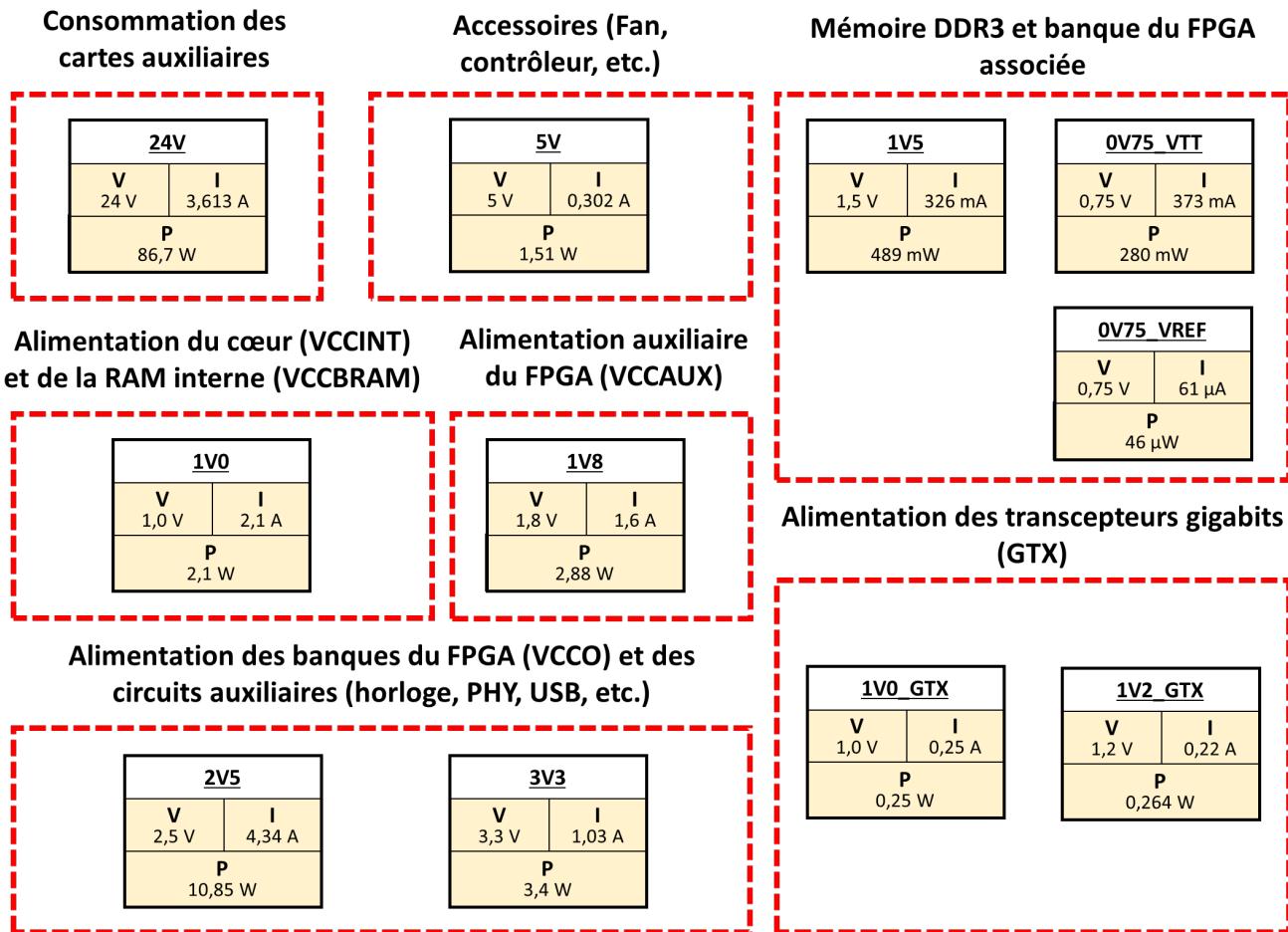


Figure 1.1.6 Alimentation consolidées

1.3. Séquence d'alimentation

Utiliser un FPGA impose la plupart du temps de contrôler la séquence dans laquelle les régulateurs de tension seront activés. Dans le cas de l'exemple du Artix 7, l'information sur la séquence de démarrage/arrêt se trouve dans la fiche technique (DS181). La Figure 1.7 montre un extrait de cette fiche technique.

Power-On/Off Power Supply Sequencing

The recommended power-on sequence is V_{CCINT} , V_{CCBRAM} , V_{CCAUX} , and V_{CCO} to achieve minimum current draw and ensure that the I/Os are 3-stated at power-on. The recommended power-off sequence is the reverse of the power-on sequence. If V_{CCINT} and V_{CCBRAM} have the same recommended voltage levels then both can be powered by the same supply and ramped simultaneously. If V_{CCAUX} and V_{CCO} have the same recommended voltage levels then both can be powered by the same supply and ramped simultaneously.

For V_{CCO} voltages of 3.3V in HR I/O banks and configuration bank 0:

- The voltage difference between V_{CCO} and V_{CCAUX} must not exceed 2.625V for longer than $T_{VCCO2VCCAUX}$ for each power-on/off cycle to maintain device reliability levels.
- The $T_{VCCO2VCCAUX}$ time can be allocated in any percentage between the power-on and power-off ramps.

The recommended power-on sequence to achieve minimum current draw for the GTP transceivers is V_{CCINT} , $V_{MGTAVCC}$, $V_{MGTAVTT}$ OR $V_{MGTAVCC}$, V_{CCINT} , $V_{MGTAVTT}$. Both $V_{MGTAVCC}$ and V_{CCINT} can be ramped simultaneously. The recommended power-off sequence is the reverse of the power-on sequence to achieve minimum current draw.

If these recommended sequences are not met, current drawn from $V_{MGTAVTT}$ can be higher than specifications during power-up and power-down.

- When $V_{MGTAVTT}$ is powered before $V_{MGTAVCC}$ and $V_{MGTAVTT} - V_{MGTAVCC} > 150$ mV and $V_{MGTAVCC} < 0.7$ V, the $V_{MGTAVTT}$ current draw can increase by 460 mA per transceiver during $V_{MGTAVCC}$ ramp up. The duration of the current draw can be up to $0.3 \times T_{MGTAVCC}$ (ramp time from GND to 90% of $V_{MGTAVCC}$). The reverse is true for power-down.
- When $V_{MGTAVTT}$ is powered before V_{CCINT} and $V_{MGTAVTT} - V_{CCINT} > 150$ mV and $V_{CCINT} < 0.7$ V, the $V_{MGTAVTT}$ current draw can increase by 50 mA per transceiver during V_{CCINT} ramp up. The duration of the current draw can be up to $0.3 \times T_{VCCINT}$ (ramp time from GND to 90% of V_{CCINT}). The reverse is true for power-down.

There is no recommended sequence for supplies not shown.

[Table 6](#) shows the minimum current, in addition to I_{CCQ} , that is required by Artix-7 devices for proper power-on and configuration. If the current minimums shown in [Table 5](#) and [Table 6](#) are met, the device powers on after all four supplies have passed through their power-on reset threshold voltages. The FPGA must not be configured until after V_{CCINT} is applied.

Once initialized and configured, use the Xilinx Power Estimator (XPE) tools to estimate current drain on these supplies.

Figure 1.7 - Extrait de la fiche technique DS181 pour le Xilinx Artix 7

Cet extrait explique en détail les effets que pourrait avoir le non-respect de la séquence, que ce soit temporairement ou de façon constante. On peut en conclure la séquence de base ci-dessous :

1. VCCINT (1V0) et VCCBRAM (1V0)
2. VCCAUX (1V8)
3. VCCO (2V5 et 3V3)

Et la séquence requise pour les transmetteurs gigabits :

1. VCCINT (1V0)
2. MGTAVCC (1V0_GTX)
3. MGTAVTT (1V2_GTX).

On peut donc fixer, bien qu'il y ait de nombreuses solutions fonctionnelles, la solution complète qui simplifie la séquence :

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> 1. VCCINT (1V0) et VCCBRAM (1V0) 2. VCCAUX (1V8) | <ol style="list-style-type: none"> 3. VCCO (2V5 et 3V3) 4. MGTAVCC (1V0_GTX) 5. MGTAVTT (1V2_GTX) |
|---|--|

Une fois la séquence déterminée, il reste à implémenter une séquence de démarrage des alimentations. Les prochaines sections présentent différentes méthodes.

Il faut toutefois garder en tête, en concevant l'arbre d'alimentation, qu'une tension devant arriver avant une autre ne peut pas être générée à partir de cette dernière, sans quoi aucune des alimentations ne pourra démarrer.

Au-delà de respecter la séquence fournie par le manufacturier, il peut être aussi intéressant d'appliquer une séquence d'alimentation pour limiter l'appel de courant instantané au démarrage (*inrush current*). Le fait de démarrer les alimentations une par une distribue la charge sur plusieurs millisecondes, permettant de limiter l'appel de courant. C'est une application typique dans les systèmes et serveurs informatiques.

1.3.1. Application des séquences d'alimentation

Il existe de nombreuses façons de mettre en application une séquence d'alimentation. Pour toutes ces méthodes, le prérequis est toujours d'éviter les interdépendances entre les alimentations devant arriver successivement. Cette section présente 4 méthodes différentes, de la plus simple à la plus complexe. Une explication plus complète des solutions est disponible à [cette adresse](#).

Cascade Power-Good / Enable

La méthode la plus simple de faire une séquence d'alimentation est d'utiliser la cascade de régulateurs en utilisant la sortie *Power-Good* (souvent décrite *PG* ou *PGOOD*) et l'entrée *Enable* (*EN* ou *Inhibit#*) des régulateurs eux-mêmes. La sortie *Power-Good* utilise un collecteur ouvert (*open collector*) pour contrôler la sortie. La sortie est maintenue à un niveau bas (< 0,3 V) tant que le régulateur n'a pas atteint la tension cible $\pm 10\%$ (les niveaux peuvent varier d'un circuit à l'autre, à vous de valider la compatibilité). Lorsque la sortie est relâchée, une résistance que vous ajoutez à votre circuit tire le signal vers un niveau logique haut, ce qui enclenche le démarrage du second régulateur. Ce circuit fonctionne si et seulement si les régulateurs ont une entrée *Enable* et une sortie *Power-Good*. Le niveau logique de l'entrée *Enable* doit toutefois supporter une tension d'entrée égale ou supérieure à la tension d'entrée du régulateur, dépendamment de la valeur de la résistance.

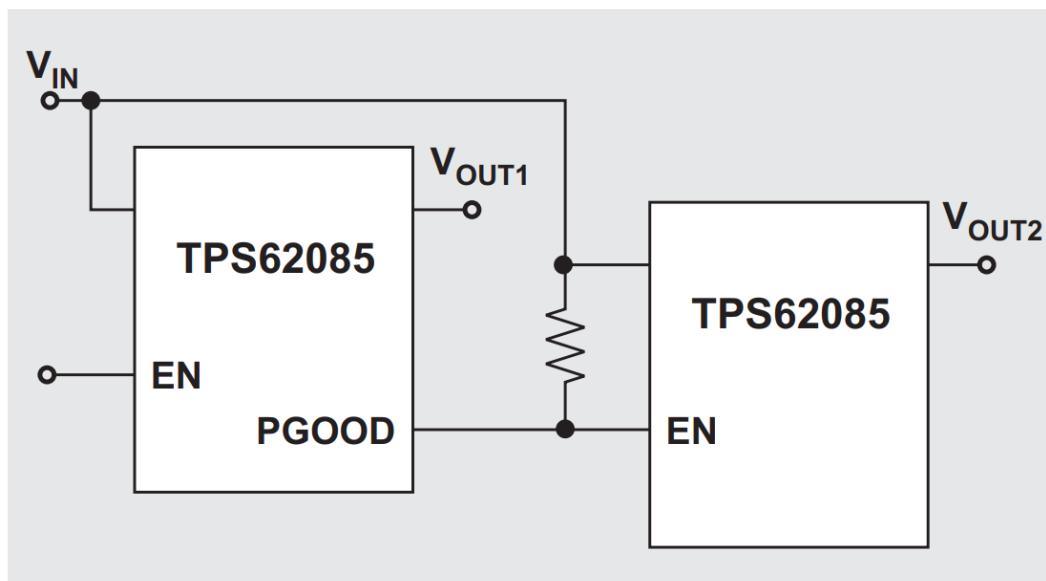


Figure 1.8 - Exemple de cascade Power-Good/Enable (Soucre : Texas Instruments - SLYT598).

Superviseur

Lorsqu'un régulateur ne dispose pas d'une sortie *Power-Good*, on peut aussi utiliser un circuit de supervision externe comme le TPS3808 de Texas Instruments (Figure 1.9).

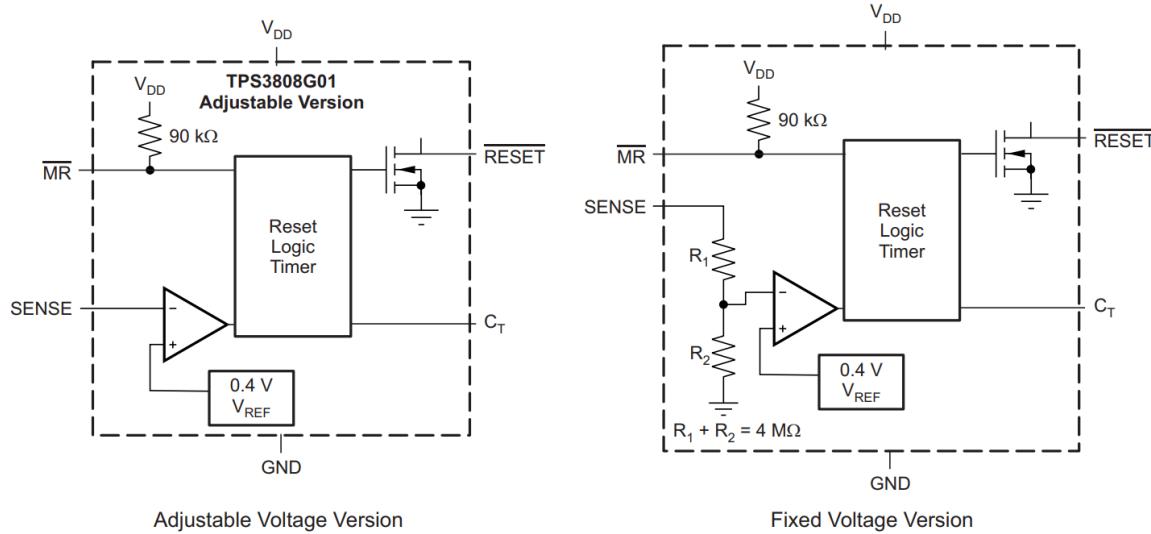


Figure 1.9 - Superviseurs de tension TPS3808 ajustable (gauche) et fixe (droite).

Ce genre de circuit intégré permet de superviser une tension avec l'entrée **SENSE** (disponible en version fixe ou ajustable avec des résistances externe) pour relâcher le nœud **RESET** lorsque l'alimentation atteint la plage déterminée. Ce type de circuit permet d'outrepasser l'absence de sortie *Power-Good* en construisant un circuit similaire manuellement. De plus, il permet généralement d'ajouter un délai entre la détection et le relâchement du **RESET** pour être certain de respecter la séquence.

Il existe aussi des superviseurs plus complexes permettant de moniter plusieurs tensions et d'appliquer un **RESET** à chaque régulateur indépendamment comme le TPS386000 (Figure 1.10).

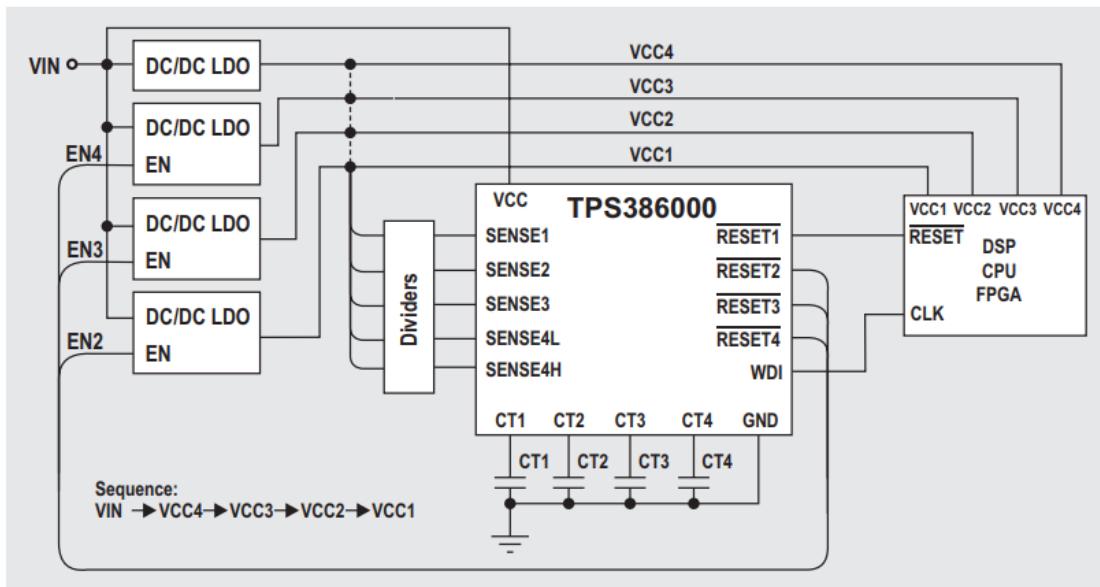


Figure 1.10 - Moniteur à plusieurs entrées/sorties TPS386000 (Soucre : Texas Instruments – Application note SLYT598).

Séquenceur

Un séquenceur peut aussi être utilisé pour contrôler le démarrage et l'arrêt des régulateurs. Le séquenceur analogique est le plus simple, et permet d'appliquer un ordre aux entrées Enable des régulateurs, tel que le SLYT598 (Figure 1.11).

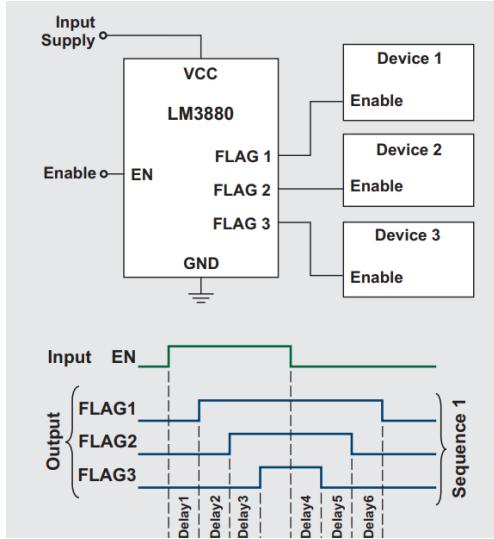


Figure 1.11 - Séquenceur analogique (Sourcee : Texas Instruments – Application note SLYT598).

Plusieurs autres séquenceurs numériques programmables sont disponibles pour les situations de séquençage encore plus complexes.

Interrupteur de charge

Finalement, lorsqu'il est impossible d'activer ou de désactiver un régulateur indépendamment des autres, on peut aussi utiliser un interrupteur de charge. Celui-ci permet de couper l'alimentation d'une section du circuit (comme le ferait un interrupteur), mais en utilisant un transistor comme élément de commutation. Bien que ce genre d'interrupteur soit faisable en pièces discrètes très simplement, de nombreux modèles intelligents sont disponibles, et ils intègrent généralement une limite de courant, une sortie Power-Good et d'autres fonctions de supervision, tel qu'illustre à la Figure 1.12.

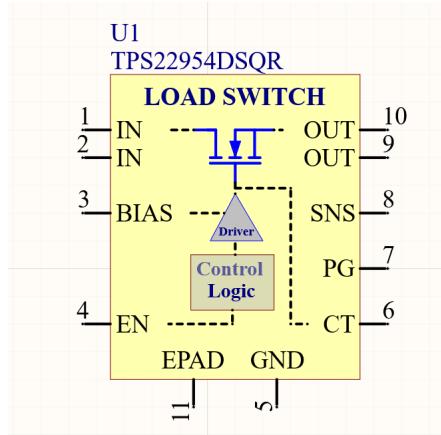


Figure 1.12 - Exemple d'interrupteur de charge TPS22954DSQR.

Tous ces outils vous permettront d'implémenter votre séquence

1.4. Contraintes d'optimisation

L'arbre d'alimentation est souvent soumis à plusieurs contraintes d'optimisation. Par exemple :

- Optimiser l'efficacité énergétique : pour minimiser les pertes en chaleur dans les régulateurs (très utile pour les appareils fonctionnant à batterie).
- Optimiser les coûts : pour minimiser l'impact financier du projet (utile dans la production de masse).
- Optimiser le temps de conception : pour minimiser les coûts de main-d'œuvre.
- Minimer les risques : pour utiliser des modèles reconnus et testés.
- Optimiser l'espace : pour les applications compactes où la taille est importante.
- Optimiser les performances : pour des applications à très faible bruit.
- Optimiser la réutilisation de la même pièce : par exemple les régulateurs ajustables peuvent être utilisés plusieurs fois pour diminuer les coûts du circuit (dû au rabais de quantité ou *price break*).

Pour toutes ces contraintes, les enjeux décisionnels de l'arbre d'alimentation sont différents. Par exemple, dans le cas du circuit du scanner LabPET II, des contraintes similaires à celle de la problématique sont favorables :

- L'efficacité énergétique était à favoriser pour limiter la dissipation de puissance et ses effets sur la qualité d'image du scanner. Puisqu'il n'y a que très peu d'unités à fabriquer, le coût additionnel est négligeable.
- La minimisation des risques était primordiale : dans ce projet les risques sont au niveau fonctionnel de l'appareil, et on ne veut prendre aucun risque sur la distribution des alimentations.

Pour ces raisons, on favorise l'utilisation de modules de régulation préconçus et testés préalablement par les compagnies (en l'occurrence Texas Instrument). La liste de régulateurs fournie au procédural 2, et utilisée pour la problématique, a donc été choisie en prenant en compte ces contraintes.

1.5. Conception de l'architecture de l'arbre d'alimentation

Une fois la séquence et les contraintes déterminées, il est possible de bâtir l'architecture de régulation des alimentations, c'est-à-dire de construire l'arbre de distribution. Il n'y a pas de méthode magique, et de nombreuses solutions sont possibles et vont nécessiter de multiples itérations. À vous de trouver la solution qui maximise vos requis.

Dans votre architecture, vous devez positionner stratégiquement les types de régulateurs qui vous sont disponibles :

- Les régulateurs linéaires (ou *LDO – Low Drop Out*), génèrent un bruit minimal et filtrent le bruit provenant de leur source selon leur ratio de réjection du bruit sur leur alimentation (*power supply rejection ratio – PSRR*). Ils sont donc très utiles pour les applications à faible bruit, comme les convertisseurs analogique/numérique et les amplificateurs. Ils ont toutefois généralement une faible efficacité énergétique pour les forts courants, bien qu'il existe des modèles à très faible

chute de tension (*low dropout*) qui limitent les pertes à un minimum s'ils sont utilisés convenablement.

- Les régulateurs à découpage (*switching regulator*), permettent d'atteindre une efficacité jusqu'à 96% et sont capables de fournir de forts courants. Ils souffrent toutefois d'un bruit de commutation (*ripple*) qui ne convient pas nécessairement aux applications à faible bruit.
- Les régulateurs à découpage inverseurs permettent de créer une tension négative à partir d'une tension positive.
- Les régulateurs linéaires négatifs permettent d'ajouter une régulation linéaire sur les alimentations négatives (**ATTENTION : ces régulateurs ne peuvent PAS inverser la tension, ils ne peuvent que réguler d'une tension négativement plus forte vers une tension plus faible**).
- Les régulateurs isolés permettent de créer une isolation électrique entre son entrée et sa sortie en utilisant un transformateur comme élément isolant.
- Les régulateurs à application spécifique, comme ceux utilisés pour les terminaisons de la mémoire DDR3, permettent de fournir ET d'absorber du courant (*source/sink regulator*).

Vous devez considérer tous ces éléments en construisant votre arbre d'alimentation.

1.5.1. Efficacité des régulateurs à découpage

Pour connaître l'efficacité d'un régulateur à découpage, on peut :

- Utiliser les courbes d'efficacité en fonction du courant de sortie dans les fiches techniques.
- Simuler l'efficacité dans un logiciel en modélisant tous les paramètres.
- Se construire un montage pour les mesurer soi-même.

Comme les deux derniers choix requièrent une étape de prototypage supplémentaire, ceux-ci ne seront pas considérés dans la problématique.

L'efficacité d'un régulateur à découpage dépend fortement de son courant de sortie, d'où l'importance d'avoir un bilan de puissance complet avant de concevoir l'arbre d'alimentation. Plus le courant est faible, plus l'efficacité sera faible, car les pertes de commutation domineront. Toutefois, à fort courant, son efficacité peut dépasser 95%, le rendant fort utile pour les lourdes charges.

La méthode itérative est généralement la plus simple pour concevoir un arbre d'alimentation, en évaluant chacun des régulateurs manuellement par rapport à la charge pour évaluer son efficacité.

1.5.2. Efficacité des régulateurs linéaires

L'efficacité d'un régulateur linéaire est directement reliée à la différence de tension entre l'entrée et la sortie, puisque par définition, le courant d'entrée est identique au courant de sortie.

$$Eff_{lin} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{V_{out} I_{out}}{V_{in} I_{in}} = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Pour optimiser l'efficacité d'un régulateur linéaire, il faut donc réduire la différence de tension entre l'entrée et la sortie. Cependant, le régulateur requiert une différence de tension minimale pour bien fonctionner, connu sous le nom de tension de chute (*dropout voltage*). La valeur maximale de tension de chute indiquée dans la fiche technique vous permettrait d'optimiser l'efficacité du régulateur si vous pouvez aussi contrôler sa tension d'entrée (à l'aide d'un prérégulateur). Les performances du régulateur

varient toutefois en fonction de cette tension de chute, posant ainsi un compromis entre l'efficacité et les performances de réduction du bruit (*PSRR*).

1.5.3. Régulateurs en cascade

Il est aussi à noter qu'un arbre à plusieurs étages de régulation n'est pas nécessairement nuisible pour l'efficacité. Dans un arbre à étage multiple, l'efficacité des régulateurs dans la chaîne se multiplie par le facteur d'efficacité qui est inférieur à 1.

$$Eff_{tot} = Eff_{reg1} * Eff_{reg2}$$

Par exemple, si on utilise un régulateur à découpage pour passer directement de 24 V à 1 V, son efficacité sera relativement faible puisque l'écart de tension entre l'entrée et la sortie est grand, soit environ 60%. Si toutefois on choisit d'utiliser un prérégulateur vers une tension intermédiaire, disons 5 V, et qu'on régule ensuite de 5 V à 1 V, on obtient deux efficacités respectives de 95% et 82%. L'efficacité total de la chaîne pour ces deux régulateurs est donc donnée par

$$Eff_{tot} = 95\% * 82\% = 78\%,$$

ce qui est largement meilleur que le 60% de la conversion directe.

1.5.4. Note générale d'optimisation d'efficacité

Sans connaître par cœur tous les régulateurs disponibles sur la planète en entier et leur fiche technique, vous pouvez utiliser ces notes pour vous orienter dans l'optimisation de l'efficacité de régulateur à découpage :

- Plus l'écart de tension entre l'entrée et la sortie est faible (sans toutefois être trop bas pour un fonctionnement adéquat), plus le régulateur sera efficace
 - Ex. : Un régulateur passant de 12 V à 5 V est généralement plus efficace qu'un régulateur passant de 36 V à 5 V.
- Ne pas trop surdimensionner les régulateurs en termes de courant maximal.
 - Ex. : Un régulateur dont le courant max est 10 A opéré à 100 mA sera extrêmement inefficace.
- Utiliser un régulateur à faible tension de chute (*low dropout – LDO*) permet d'augmenter l'efficacité de façon significative, mais augmente aussi le prix du régulateur.
- Utiliser un prérégulateur à découpage avant un régulateur linéaire peut largement augmenter l'efficacité d'un régulateur linéaire.
- Pour générer une tension négative à faible bruit (sans *ripple*), il faut nécessairement utiliser deux régulateurs.

1.5.5. Efficacité totale

L'optimisation de l'efficacité totale d'un arbre d'alimentation est l'objectif principal d'une conception méthodique, et non l'optimisation de chacune des efficacités individuelles. L'efficacité totale est donnée par :

$$Eff_{tot} = \frac{P_{utile}}{P_{consommée}}$$

La puissance utile est celle qui est utilisée pour faire un calcul, un traitement, un transport d'information, etc. En d'autres mots, c'est la puissance consommée par votre circuit à la sortie de l'arbre d'alimentation. La puissance consommée est la puissance à l'entrée de l'arbre d'alimentation, et inclut toutes les pertes de régulation.

Il est important de garder en tête que pour optimiser l'efficacité totale, il faut minimiser les pertes globales dans le système d'alimentation. Pour ce faire, il faut optimiser l'efficacité des régulateurs qui fournissent le plus de puissance dans le circuit, et non ceux qui fournissent le plus de courant. Par exemple :

- Un régulateur passant de 24 V à 1V à 60% d'efficacité pour une charge de 10 A dissipera 6,7 W pour fournir 10 W.
- Un régulateur passant de 24 V à 2,5 V à 60% d'efficacité pour une charge de 10 A dissipera 16,7 W pour fournir 25 W.

Ainsi, la même efficacité de régulation mène à une perte trois fois plus grande, car la puissance de sortie est plus grande. On peut donc conclure que l'efficacité des régulateurs qui fournissent **la plus grande puissance** est celle qu'il faut optimiser le plus.

1.6. Procédure de conception de l'arbre

Voici les étapes dans l'ordre suggéré pour concevoir l'arbre d'alimentation.

- **Bilan de puissance** : Évaluer la consommation de tous les circuits dans votre schéma, incluant les circuits intégrés, les résistances et les terminaisons.
- **Évaluer les requis en termes de séquence** : valider les circuits qui requièrent une séquence d'alimentation.
- **Consolidation des alimentations** : Regrouper les alimentations de même voltage qui sont compatibles.
- **Déterminer les alimentations qui requièrent un faible bruit** : identifier les alimentations analogiques et placer des régulateurs linéaires.
- **Déterminer les besoins de prérégulation** : déterminer s'il serait plus efficace de réguler à une tension intermédiaire avant de passer à la valeur finale. Est-ce qu'une des tensions requises pourrait servir de prérégulateur?
- **Placer judicieusement les régulateurs à découpage** : placer les régulateurs à découpage aux endroits stratégiques restant pour compléter l'arbre.
- **Choisir les modèles de régulateur** : en fonction des plages d'entrée et de sortie des régulateurs, des capacités en courant, de l'efficacité, sélectionner le régulateur adéquat pour chaque emplacement. Il faut toujours partir de la charge vers la source puisque les courants des régulateurs plus près de la source vont changer en fonction de l'efficacité des régulateurs près de la charge
- Calculer les courants et les puissances pour l'entrée et la sortie de chaque régulateur.
- Calculer les pertes dans chacun des régulateurs ($P_{out} - P_{in}$).
- Valider la température d'opération de chacun des régulateurs pour éviter les surchauffes.
- Itérer sur différentes architectures au besoin.

1.7. Justification du choix d'architecture

Pour conclure, voici quelques éléments justificatifs pour le choix d'architecture utilisé pour la carte centrale du LabPET II présentée à la Figure 1.2.

- Les terminaisons et la référence de la DDR3 (0V75_VTT et 0V75_VREF) nécessitent un régulateur particulier pouvant fournir et absorber du courant. Le TPS51200DRCT est conçu spécifiquement pour cette application.
- La tension 1V5 pour la DDR3 ne requiert pas nécessairement un régulateur linéaire, mais son efficacité (79%) s'approche de ce qu'on pourrait obtenir à partir d'un régulateur à découpage. De plus, comme il prend son courant de l'alimentation 3V3, l'efficacité du régulateur à découpage pour le rail 3V3 est améliorée, car le courant est plus grand.
- Une prérégulation à 5 V était souhaitable pour augmenter l'efficacité du régulateur 1V0. Comme le 5 V était requis comme alimentation et sans séquence apparente, l'utilisation de ce rail comme prérégulateur était favorable.
- L'utilisation de régulateurs linéaires était essentielle pour les transcepteurs gigabit (GTX). Bien que leur efficacité individuelle soit faible, l'impact sur l'efficacité totale est limité par la faible consommation de ces deux charges.
- La majorité de la consommation du circuit est faite directement sur l'alimentation 24 V qui est transférée à d'autres cartes électroniques. Cette puissance n'est donc pas dissipée sur cette carte, mais sur les autres.

1.8. Conclusion

La conception d'un arbre d'alimentation n'est pas un processus trivial, et plusieurs bonnes réponses demeurent possibles. Pour la problématique et l'APP en général, limitez-vous à la liste de régulateurs fournis, mais gardez en tête qu'il existe une infinité de régulateurs différents, tous avec des caractéristiques uniques, qui pourrait répondre spécifiquement à vos besoins!