

携帯用電子機器の節電に挑戦, 高効率電源用半導体

Semiconductors for High Efficiency Power Supply
(Challenge to Save Power for Portable Equipment)

中込義之* *Yoshiyuki Nakagomi*

高川恭一* *Kyôichi Takagawa*

小栗啓志** *Keiji Oguri*



携帯用電子機器の活用 わたくしたちの日常生活の中で、ビデオカメラ、ハンディセルラ、ワードプロセッサなど、携帯用電子機器は電源のくふうによって使いやすくなっている。

近年、生活の多様化に伴い、多くの携帯用電子機器が使われるようになった。周囲を見回しただけでも、カメラ一体形VTR、パーソナルコンピュータ、ワードプロセッサ、コードレス電話機、ハンディセルラ電話機など多種多様である。これらの機器では

電池の長寿命化が強く要求されている。そこで、パワーマネジメント方式という不要回路の電源をこまやかに切る節電方式、二次電池の急速充電、DC-DC変換器を用いた電源電圧変動許容範囲の拡大などにより、電池の長寿命化を可能とした。

* 日立製作所 半導体設計開発センタ ** 日立製作所 甲府工場

1 はじめに

近年、一般家庭でも口絵に示すような多くの携帯用電子機器が使われるようになってきている。その代表ともいえる家庭用カメラ一体形VTRやワードプロセッサでは、小形・軽量化と、電池の長寿命化が商品価値の重要な要素として強く要求される。しかし、電池の容量の増大にも限界があり、またICの低電流化にも限界がある。そこで、電力の使い方をシステム的に見直して長寿命化に成果を上げているのが、電源回路のくふうとパワーマネジメントと呼ばれる配電のくふうである。カメラ一体形VTRの内部では動作していない回路を電源から切り離して、電池の消耗を節減する方式がとられる。これがパワーマネジメントであり、制御用マイクロコンピュータ(以下、制御用マイコンと略す。)の処理ステップに合わせて、短い期間でもこまめに節電する。さらに、内部回路にさまざまな電圧を提供するDC-DC変換器も小形、軽量、高効率化が図られている。ここでは、家庭用カメラ一体形VTRを例に節電形の電源回路方式と、これに使われる最新技

術のIC、パワーMOS FET(電界効果トランジスタ)およびダイオードについて述べる。

2 携帯用電子機器における電源回路の技術動向

小形・軽量化が商品価値の重要な要素とされるカメラ一体形VTRでは、電池の長寿命化のために電源回路で種々のくふうがなされている。電池の充電器、電力を効率的に配電するパワーマネジメントおよび複数の電圧を作るDC-DC変換器をシステム的にくふうした構成例を図1に示す。このシステム構成は、パーソナルコンピュータ(以下、パソコンと略す。)やハンディセルラ無線電話機にもほぼ同様に応用できる。

家庭での充電には商用交流100 V電源から電力を得る。このための充電装置は一般にバッテリーチャージャとも言われる。従来のトランス式電源に比べ、軽量で携帯に便利なスイッチング電源が一般化し、しかもスイッチング周波数を200 kHzないし500 kHzの高周波にすることでさらに小形化している。

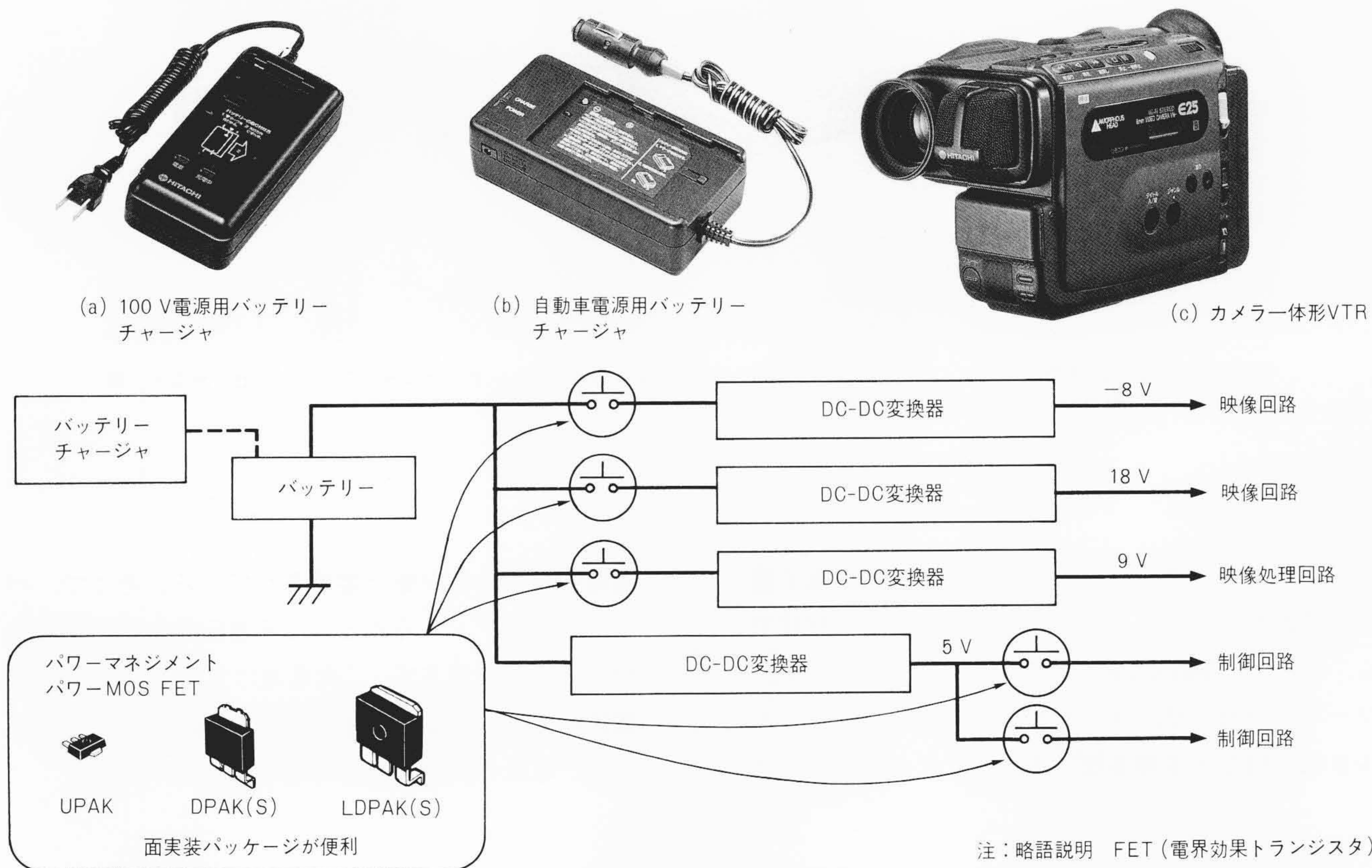


図1 電源回路へのパワーマネジメント方式提案 家庭用100 V交流電源や自動車電源によって充電されたバッテリーの電力は、必要に応じて各回路に供給されるが、不要なときは回路を切るパワーマネジメントが効率を上げる。

最近では急速充電が要求されている。従来8時間とも言われていた充電時間は、1時間程度まで短縮されており、最近では15分程度までに短縮された機種もある。

カメラ一体形VTR内部では、映像回路のように電池で供給できる電圧とは異なる特定の電圧が必要な回路もあり、6V程度の電池電圧をもとに、必要に応じておのこの電圧を作っている。これに使う回路はDC-DC変換器と言われ、小形、軽量、高効率化が要求される。この要求には上記と同様に高周波化で対応している。現状では、パワーマネジメントは一部のカメラ一体形VTRで実用化されているが、パソコンやセルラ無線電話にはより実用化が進んでいて、効率的な電池の使い方を実現する手段となっている。

3 電池への充電器とそれに使われるパワーMOS FET

バッテリーチャージャの代表的構成を図2に示す。最近では急速充電の要求が強く、従来の充電器に比べ短時間に大電流を流し込む必要がある。充電が速く進み、しかも過充電にならないように電圧や電流を管理するので、制御用マイコンを用いて制御する機種も多くなってきた。

商用100V交流電源から100W程度の電力で充電する場合は、先の図2に示した1石フォワード形スイッチング電源回路が最も一般的である。この場合、パワーMOS FETには450Vから500Vの耐圧が要求される。一方、海外でも使用できるように、100Vから220Vの範囲(実際にはさらに15%程度広範囲でも使える。)で切換なしで使える機種もあり、この場合は900V耐圧が要求される。回路方式を変えて、ハーフブリッジ回路や共振電源回路を用いると、おのこの300Vと600Vの耐圧で済む。

パワーMOS FETのパッケージもくふうされている。従来のTO-220ABパッケージを小形化したLDBAKは、TO-220AB同等以上の定格特性を持ち、しかも面実装に適する。

これらのパワーMOS FETの主な品ぞろえを表1に示す。パッケージはTO-220AB、TO-220FMおよびLDBAKの3種類をそろえてある。これらのパッケージも合わせて同表に示す。

パワーMOS FETの特性への要求は、高周波対応と破壊耐量が代表的である。高周波化するとトランスやコンデンサが小さくて済むので、全体が小形化できる。しかし、同じパワーMOS FETを高周波で使うと、入力容量の充放電などの電力損失のために、電力変換効率が悪く

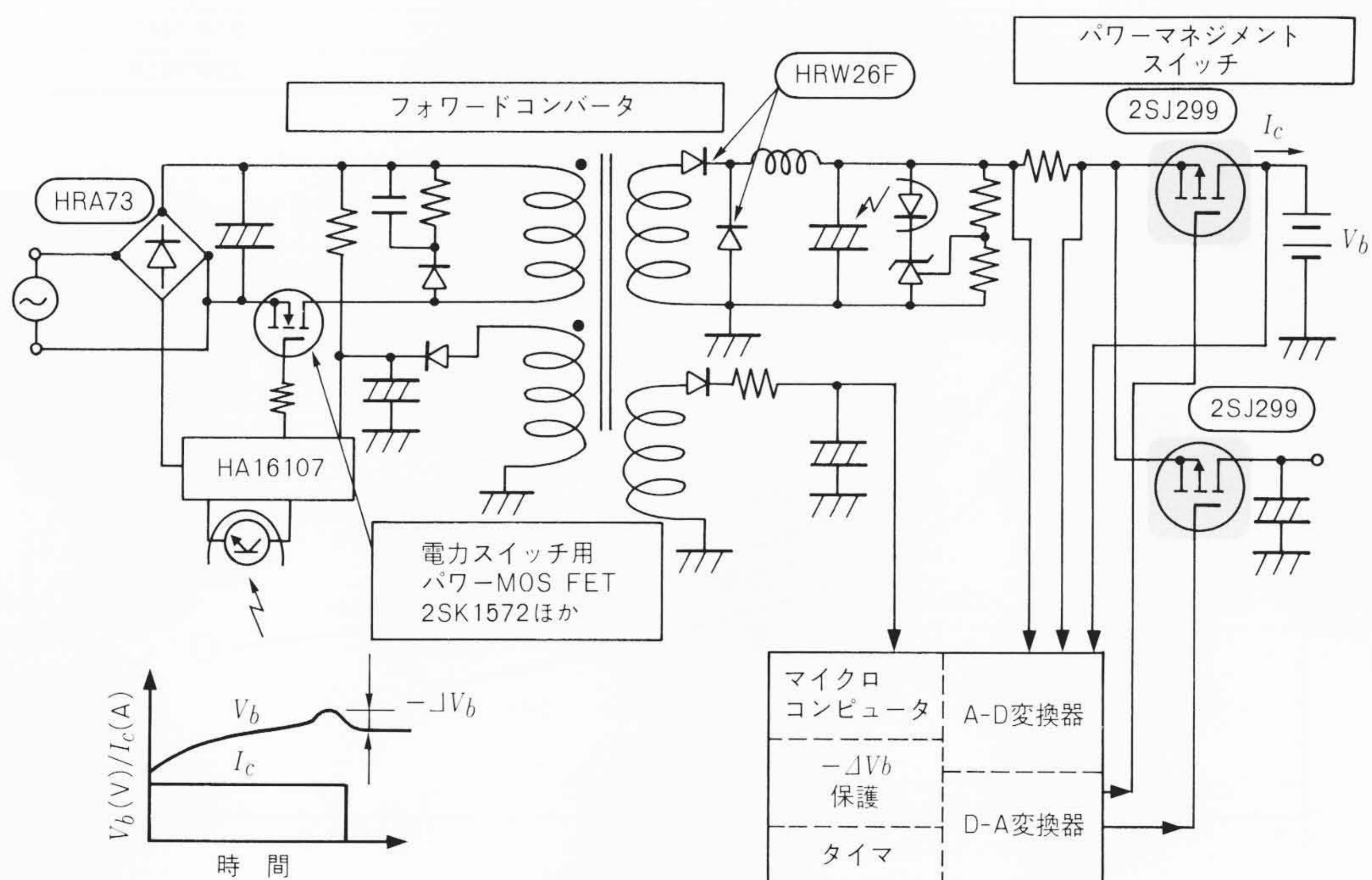


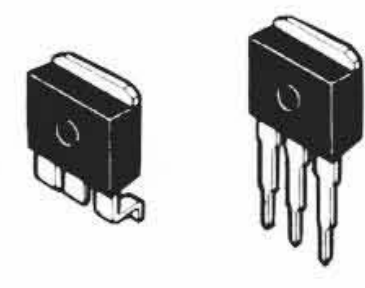
図2 バッテリーチャージャの回路例 最近のバッテリーチャージャは急速充電に対応している。充電中の電圧の変化を感知して充電完了とする。電源用リニアIC HA16107のほかにパワーMOS FET、ショットキーダイオード、マイクロコンピュータなどが使われる。

なってしまう。損失電力の発熱分を放散するためには大きな外形が必要になるので、小形化には電力変換効率の向上が必須(す)である。これに対応するために、パワーMOS FETの入力容量を小さくして電力変換効率の改善を図った製品を開発した。従来のD-IおよびD-IIシリーズに比べて改良版のD-IIIシリーズは、図3に示すように入力容量を小さくした。

一方、パワーMOS FETの負荷になっているトランスの漏れインダクタンスなどの誘導性負荷が放出するエネ

ルギーによって、一時的にドレーンにパルス状の高電圧が発生して破壊に至ることがある。従来はダイオード、コンデンサおよび抵抗を組み合わせたスナバ回路を作り、このエネルギーを吸収していた。しかし、120 V耐圧以上のD-IIIシリーズは、パワーMOS FET自身の破壊なしにそのエネルギーを吸収できる能力を持っているので、スナバ回路を不要とする場合が多い。いわゆるアバランシェ破壊耐量保証のパワーMOS FETと言える。アバランシェ破壊耐量測定回路を図4(a)に、測定波形を同

表1 バッテリーチャージャ用パワーMOS FET バッテリーチャージャの一次側のパワーMOS FETは、500～900 Vの耐圧で経済的にも対応できるTO-220(FMも含む。)が使われる。最近では面実装対応可能なLDPAKが使われることが多い。

耐 圧 V_{DSS} (V)	最大電流 I_D (A)	オン抵抗 $R_{DS(on)}$ (Ω) Max.	パッケージ		
			TO-220	TO-220FM	LDPAK
					 (S) (L)
500	3	3.0	2SK 1154	2SK 1863	—
	5	1.5	2SK 1156	2SK 1627	2SK 1314
	7	0.9	2SK 1158	2SK 1567	2SK 1541
600	3	5.0	—	2SK 1572	2SK 1618
	4	2.4	2SK 1402	2SK 1637	2SK 1624
	5	1.5	2SK 1809	2SK 1404	2SK 1625
900	2	7.0	2SK 1338	2SK 1275	2SK 1647
	4	4.0	2SK 1807	2SK 1808	2SK 1528

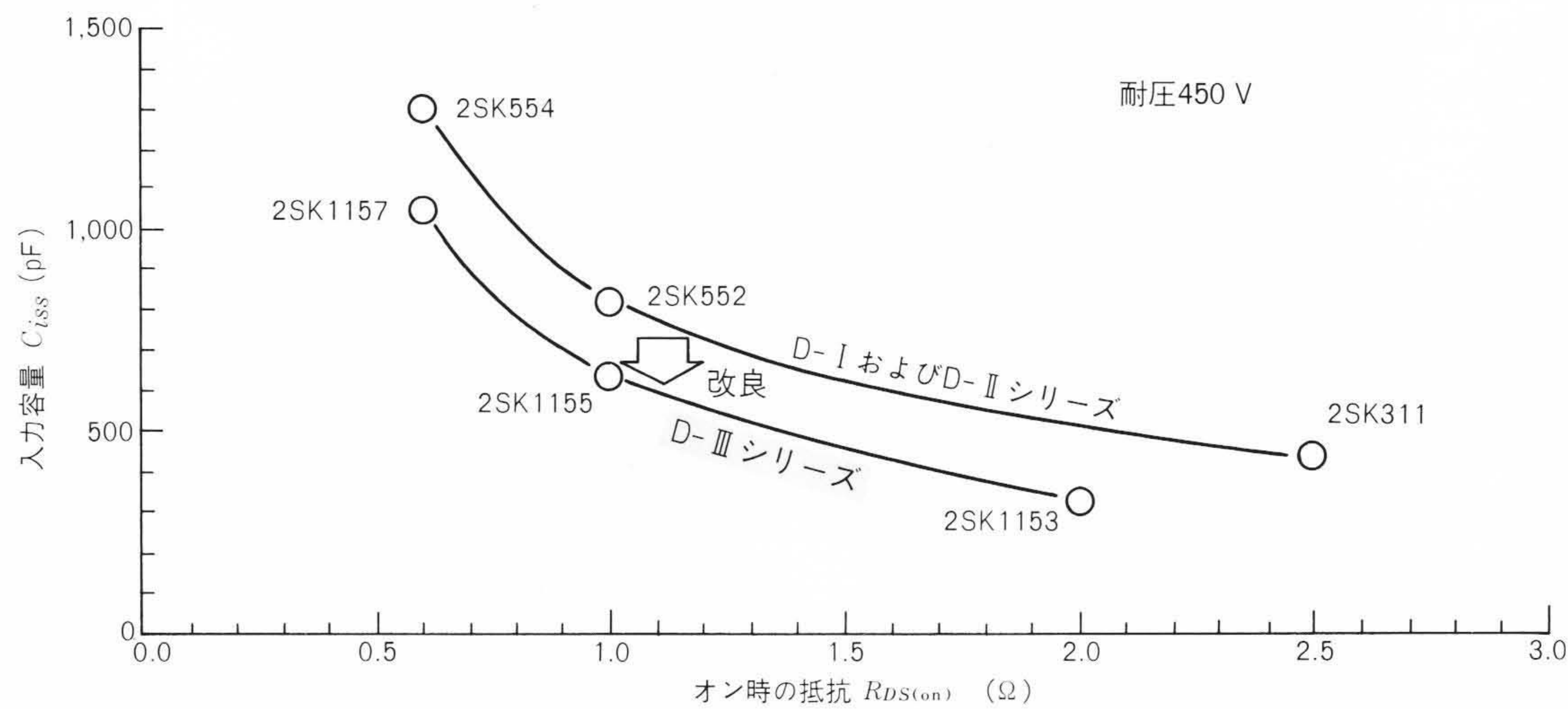


図3 パワーMOS FETの入力容量の改良 バッテリーチャージャの小形化は高周波化によって達成される。そのためには、入力容量が小さいことが必要である。D-IIIシリーズパワーMOS FETは、前世代のD-IIシリーズに比べて約20%入力容量を小さくした。

図(b)に，破壊耐量を同図(c)に示す。

4 小形・軽量化が進むDC-DC変換器

カメラ一体形VTRなどの携帯電子機器では，充電された電池から電力を得て電子回路を動作させるが，単一の電源からその回路に必要な複数の電圧を作る必要がある。また，電池の電圧降下を補って一定電圧を得る必要がある。この役目を担うのが，DC-DC変換器である。携帯用電子機器では，1台当たり3個から7個の複数のDC-DC変換器を使うものが多い。その回路は大別すると図5

に示す3種類になる。

最も代表的なのがステップダウン回路で，その構成を図5(a)に示す。回路構成上60V以下の低耐圧のPチャンネルのパワーMOS FETが適している。また，5Vまたは3Vの主な制御回路に電力を供給するため，耐圧がこのクラスのものとしては電流容量が大きいパワーMOS FETが必要である。さらに，電池の寿命化のために電力変換効率を向上する必要がある，パワーMOS FETのオン抵抗を極力小さくするように求められている。PチャンネルパワーMOS FETはNチャンネルに比べ，ほぼ3倍の

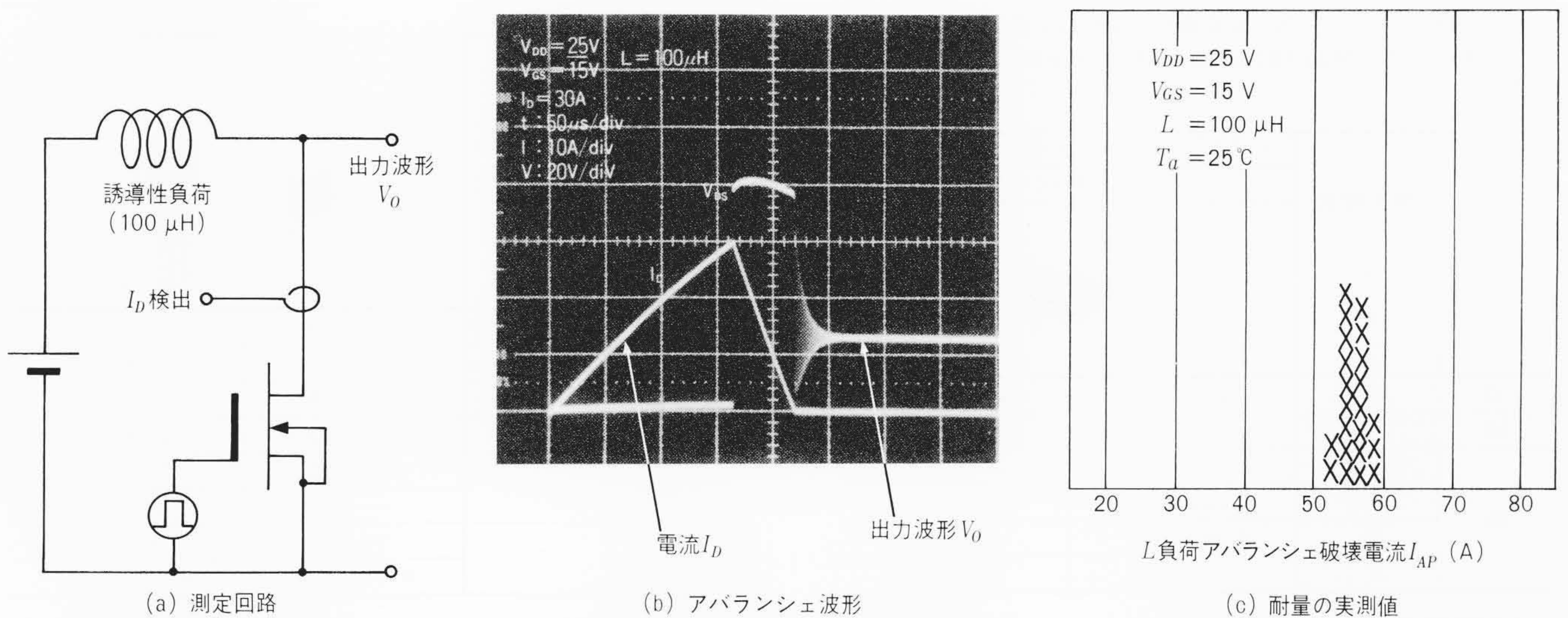


図4 誘導性負荷のアバランシェ耐量保証 (a)のような誘導性負荷を持つ応用回路では，回路がオフになるときのエネルギー放出を(b)のような波形で行っても，(c)に示すように十分な耐量があり，保護用回路部品が節約できる。

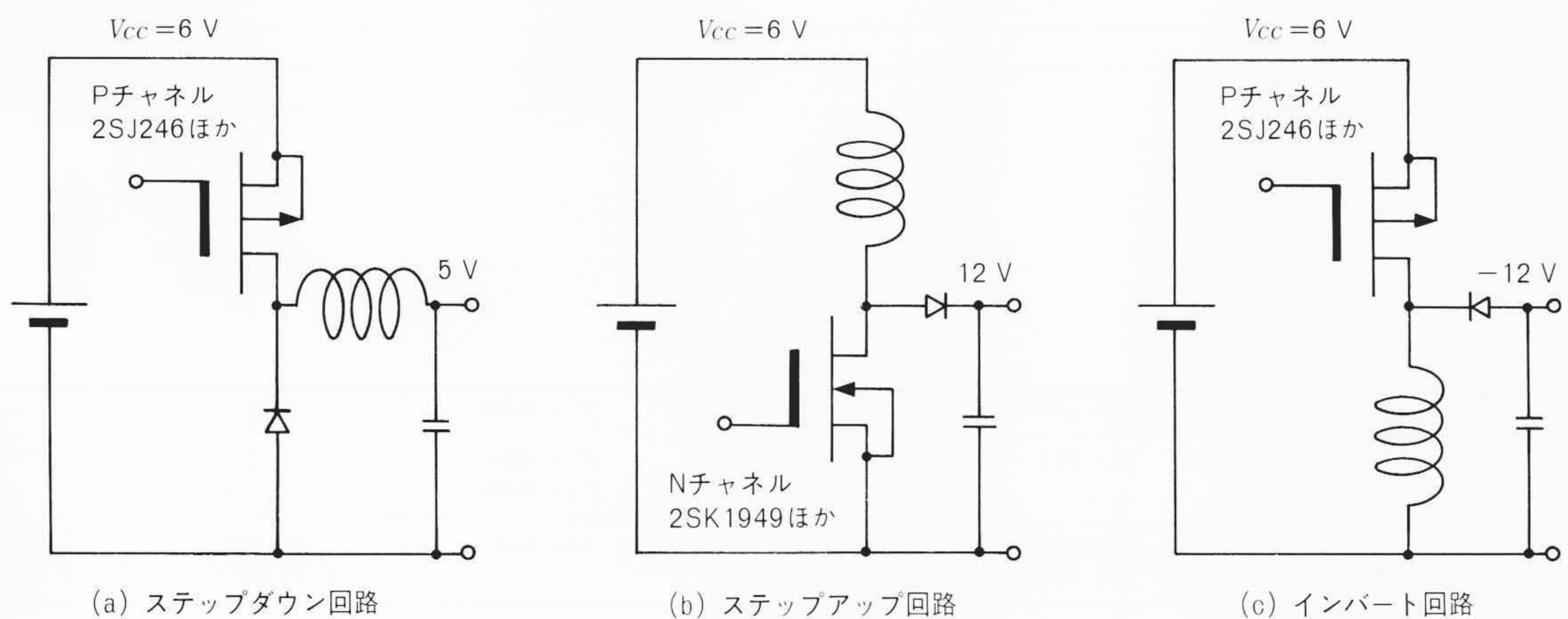


図5 DC-DC変換器の各種回路方式 DC-DC変換器には大きく分類すると3種類ある。(a)のステップダウン回路と(c)のインバート回路にはPチャンネル，(b)のステップアップ回路にはNチャンネルのパワーMOS FETが使われる。

チップ面積を必要とするので経済性が悪くなる。この対策として、微細加工による超低オン抵抗のプロセスを開発した。従来のD-Ⅲシリーズに比べ、新プロセスのD-Ⅳシリーズは約30%のオン抵抗削減を実現した。これらの品ぞろえを表2～4に示す。

アナログ信号処理回路などには9 Vから20 Vの高い電圧が必要になるが、電池の電圧よりも高い電圧を得るには、図5(b)に示すステップアップ回路を用いる。回路構成上、NチャネルパワーMOS FETが適している。電流も小さいため小形面実装パッケージがよく使われる。

表2 パワーマネジメント DC-DC変換器用パワーMOS FET
パワーマネジメント、DC-DC変換器に使われる面実装小形パッケージUPAKのパワーMOS FETを示す。特にPチャネル 2SJ244が使いやすい。

耐 圧 V_{DS} (V)	最大電流 I_D (A)	パッケージ	
		UPAK	
			
12	2	2SJ244	2SK1579
30	1	—	2SK1762
60	0.3	—	2SK1698
	0.5	—	2SK1697
	1	# 2SJ278	—
	2	—	2SK1764

注：#印はD-Vシリーズ

UPAK, DPAKおよびLDPAKがこれにあたる。NチャネルパワーMOS FETの品ぞろえも表2～4に示す。

液晶ディスプレイなどの表示回路には負電圧が必要である。負電圧を得るには図5(c)に示すインバート回路を用いる。回路構成上PチャネルパワーMOS FETが適し、小電力なので小形面実装パッケージがよく使われる。品ぞろえは先の表2～4の面実装のものが使われる。

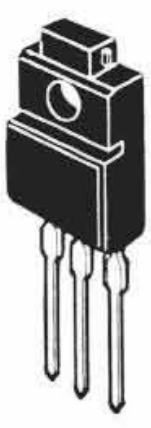
以上3種類の回路はDC-DC変換器の代表的な回路で

表3 パワーマネジメント DC-DC変換器用パワーMOS FET
表2と同様にパワーマネジメント、DC-DC変換器に使われる面実装中形パッケージDPAKのパワーMOS FETを示す。特にPチャネルの2SJ246が使いやすい。

耐 圧 V_{DS} (V)	最大電流 I_D (A)	パッケージ	
		DPAK	
		 (S)	 (L)
20	5	2SJ299	—
30	2.5	2SJ234	2SK1763
	7	2SJ246	—
60	2	2SJ223	2SK973
	3	2SJ182	2SK974
		—	# 2SK1950
	5	2SJ245	—
		# 2SK279	# 2SK1949

注：#はD-Vシリーズ

表4 パワーマネジメント DC-DC変換器用パワーMOS FET(耐圧60 V) 表2と同様にパワーマネジメント、DC-DC変換器に使われる大形パッケージのパワーMOS FETを示す。特に面実装でPチャネルの2SJ280が使いやすい。

最大電流 I_D (A)	パッケージ					
	TO-220		TO-220FM		LDPAK	
					 (S)	 (L)
10	2SJ172	2SK970	2SJ175	2SK1093	2SJ214	—
15	2SJ173 # 2SJ290	2SK971 —	2SJ177 # 2SJ293	2SK1094 2SK1095	2SJ219 # 2SJ296	2SK1648 —
20～25	2SJ174 # 2SJ291	2SK972 # 2SK1910	2SJ177 # 2SJ294	# 2SK1951 —	2SJ220 # 2SJ297	2SK1622 # 2SK1918
30	— # 2SJ292	2SK1296 —	— # 2SJ245	— —	2SJ242 # 2SJ280	— —
40	—	# 2SK1911	—	# 2SK1952	—	# 2SK1919

注：#印はD-Vシリーズ

あるが、コントローラICは、ともにHA17451Aが適する。また、二次側整流ダイオードはショットキーダイオードが用いられる。特に小さい電流で済む場合は、小形面実装パッケージによって回路全体の小形化を図る場合が多い。耐圧30 Vで電流200 mA、500 mAの小形ショットキーダイオードHRW0203AとHRW0503Aは、パッケージもMPAKで非常に小さい。これらショットキーダイオードの品ぞろえを表5に示す。

5 電池の寿命を伸ばすパワーマネジメント

カメラ一体形VTRやパソコンでは、実装されているすべての回路が常に動作しているわけではない。必要な回路を、必要なときに、最小限度動作させ、そのときだけ電源電圧を与える方式が実用化し始めている。これをパワーマネジメントと言う。パワーマネジメントは、ハンディセルラ電話機やコードレス電話機にも用いられ、非常に小さな時間比率の間だけ間欠受信をすることによって電池の長時間運用化に効果をあげている。これらの制御方式の一例を図6に示す。

最近のワンチップ制御用マイコンやASIC(特定用途向けIC)では、周辺回路のドライバソフトやアプリケーションソフトの動作に自動的にリンクして、パワーマネジメントができる仕掛けも見受けられるようになって

た。これらのICは1回路から6回路の出力端子を持っていて、これをパワーMOS FETに接続して使う。PチャネルパワーMOS FETを駆動するには、オープンドレインの出力回路が使いやすいので、ASICなどで設計するときは接続方法まで検討しておいたほうが良い結果を生む。

パワーマネジメントスイッチは、より効果的に電力を節約するために、通常はDC-DC変換器の手前に挿入する。不要なときに、DC-DC変換器の無効電力損失までも節約できるメリットがある。しかし、用途によってはDC-DC変換器を細かく区分して何個も実装できない場合もあり、DC-DC変換器の後にパワーマネジメントスイッチを挿入せざるを得ないこともある。ともに、プリント配線基板の任意の場所に最低限度の面積でパワーMOS FETを実装する必要があるが、前述の小形面実装パッケージのPチャネルパワーMOS FETが使われる。

6 さらに長寿命化する電池駆動電子機器の将来の動向

電池駆動の携帯用電子機器は、さらに小形・軽量化が要求される。また、現在電源電圧5 Vが主流の制御回路も、省電力化のため3 Vになる傾向がある。

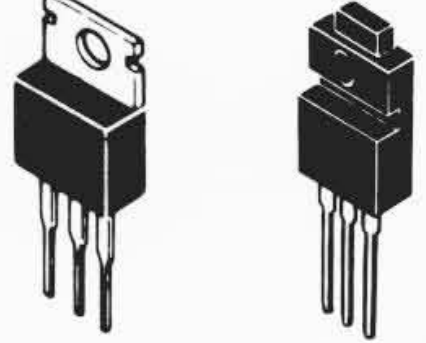
充電器は電力変換効率の向上により、発熱も小さくなり結果的に小形になる。共振電源回路やゼロクロススイッチ回路(部分共振によって電流がゼロになったときに回路を切り換える方式)の実用化が進み、パワーMOS FETも従来に比べ半分程度の耐圧で済むようになる。耐圧250 Vから350 VのパワーMOS FETがより経済的に使える。低飽和電圧特性を持ったIGBT(絶縁ゲート形バイポーラトランジスタ)も共振回路で応用されると思われる。

DC-DC変換器は低電圧化が進み、30 V程度の耐圧で低オン抵抗のパワーMOS FETが要求される。D-IVシリーズやさらに微細加工化したプロセスが期待される。二次側整流ダイオードが3 V出力になると、従来のショットキーダイオードでは電力損失が全電力損失の約60%にもなってしまう。そのため、低順方向電圧ドロップ(低VF)ショットキーダイオードの開発が進んでおり、それによって10%から20%の電力変換効率向上をねらっている。

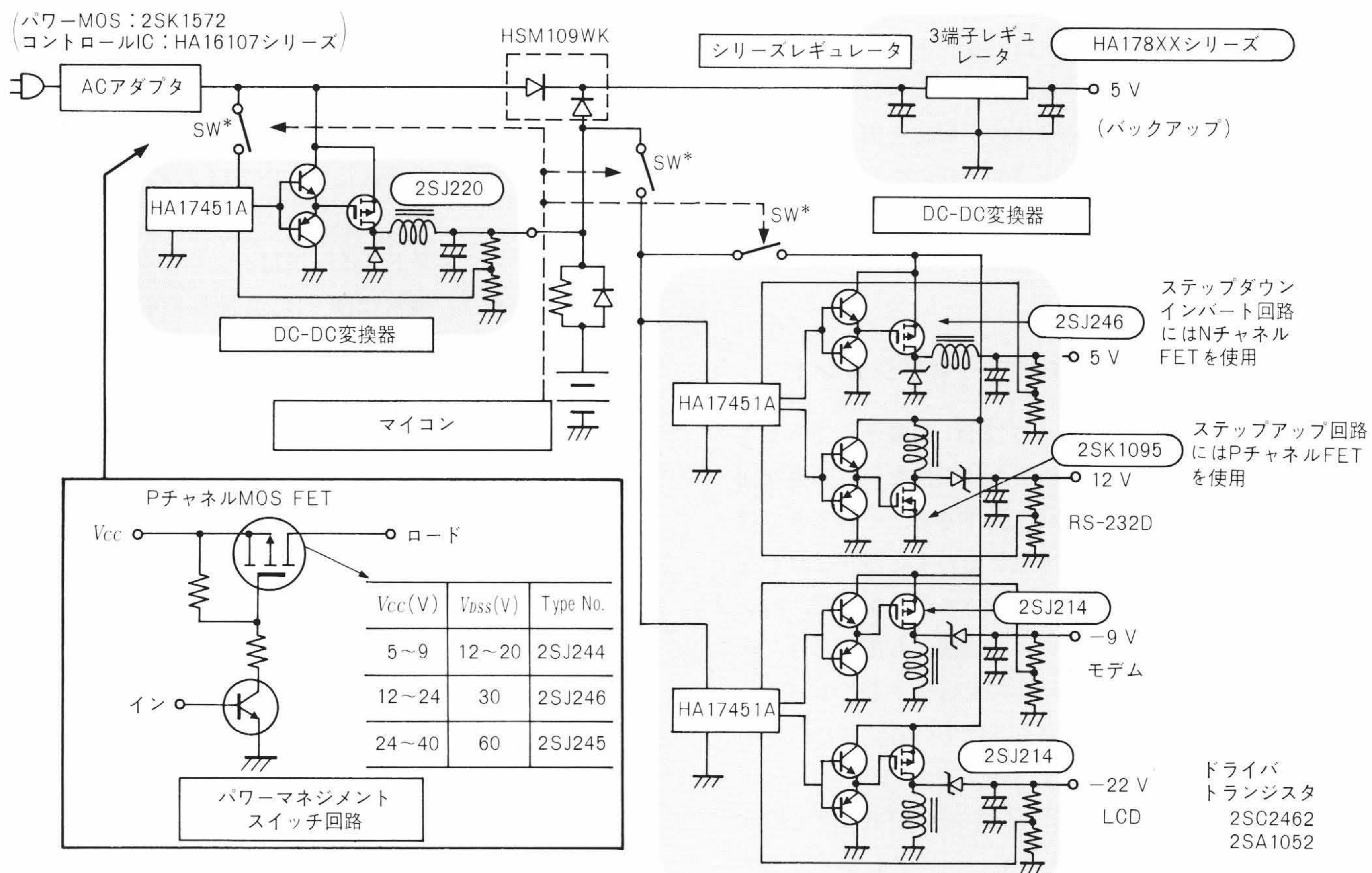
パワーマネジメント回路は、よりきめ細かに使われるようになり、面実装パッケージの多様化と低オン抵抗化、経済性がよりいっそう要求される。

これらセットメーカーの要求は、供給側である半導体

表5 DC-DC変換器の二次側整流用ショットキーダイオード
DC-DC変換器の二次側整流用には、一般にショットキーダイオードが使われる。特にMPAKで低VFのHRW0302Aは、新しいデバイスとして高効率化に寄与する。

パッケージ	I_o (A)	V_R (V)	製品型番
 MPAK	0.2	30	HRW0203A
	0.3	20	HRW0302A*
	0.5	30	HRW0503A
 LRP	1.0	40	HRF22
		90	HRF32
 DO-201AD	3.0	40	HRP24
		60	HRP34
 TO-220(FM)	10.0	40	HRW26/26F
	5.0	90	HRW34/34F
	10.0	90	HRW36/36F
	20.0	90	HRW37F

注：*印は低VFの新プロセス



注: 略語説明 LCD (液晶表示素子)

図6 パワーマネジメント回路の例 パワーマネジメント回路の使用例を示す。図中SWと記されている部分にPチャンネルのパワーMOS FETが使われ、マイクロコンピュータの指示に従ってパワーマネジメントを行う。

メーカーと互いにくふうし加速しあって、ここ2年程度で実用化が進み、高度の技術が確立していくとみられている。

7 おわりに

家庭用カメラ一体形VTRやワードプロセッサなど、バッテリーを使った携帯用電子機器は、わたくしたちの日

常生活に欠かせないものとなってきた。ここで述べたパワーマネジメントやDC-DC変換器の高効率化によって、バッテリーの寿命が長くなり、また、バッテリーの小形化とも相まって、携帯用電子機器はいっそう使いやすいものとなっている。今後も、さらに携帯に便利な電子機器に使われるパワーMOS FET、ダイオード、電源制御用ICなどの開発を進めていく考えである。